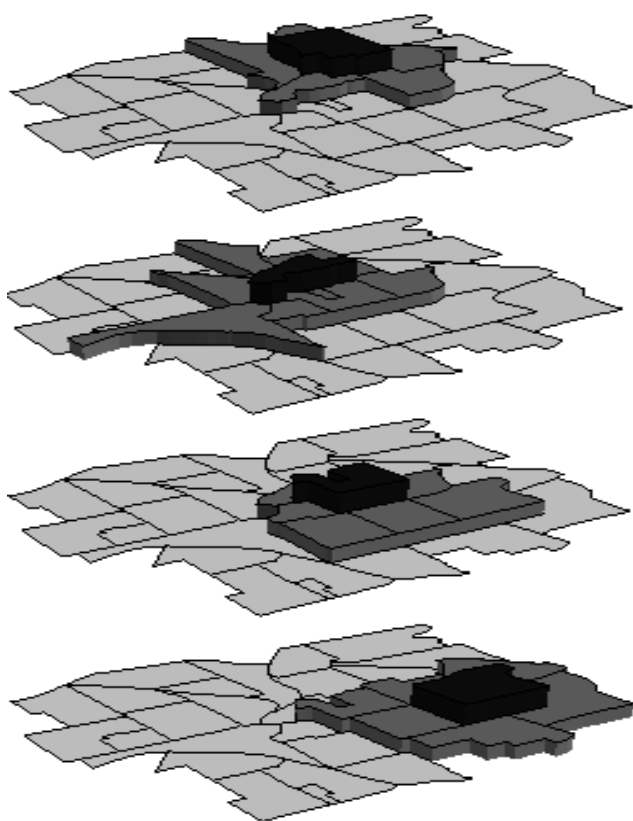


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

І. М. Патракеєв



КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

“ГІС В УПРАВЛІННІ
ТЕРИТОРІЯМИ”

*(для студентів 5 курсу денної
форми навчання спеціальностей
7.070908, 8.070908 «Геоінформа-
ційні системи і технології»)*

Патракеєв І. М. ГІС в управлінні територіями: Конспект лекцій (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальностей 7.070908, 8.070908 «Геоінформаційні системи і технології») / І. М. Патракеєв; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. - 115 с.

Автор: Патракеєв І. М.

Рецензент: к.т.н., проф. В. Д. Шипулін

**Рекомендовано кафедрою геоінформаційних систем і геодезії,
протокол № 3 від 18 листопада 2008 р.**

© Патракеєв І. М., ХНАМГ, 2011

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕРИТОРІЯ МІСТА І ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКТОР В УПРАВЛІННІ МІСТОМ.....	7
ЛЕКЦІЯ 1. ТИПИ І ЕЛЕМЕНТИ ПЛАНУВАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МІСТА.....	7
1.1. Типи і елементи планувальної структури.....	7
1.2. Функціональне зонування території.....	9
1.3. Розвиток планувальної структури міста.....	13
1.4. Місто як об'єкт системного дослідження.....	14
1.5. Місто як об'єкт автоматизації.....	19
ЛЕКЦІЯ 2. ГЕОГРАФІЧНИЙ ЧИННИК В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ.....	23
2.1. ГІС як інтеграційне середовище.....	27
2.2. Підвищення ефективності територіального планування.....	27
2.2.1. Розробка генерального плану як рішення задачі динамічної оптимізації.....	27
2.2.2. Моделі оптимізації.....	27
2.2.3. Тематичне моделювання і ГІС-аналіз при розробці Генерального плану.....	27
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ.....	30
ЛЕКЦІЯ 3. НЕЧІТКА ЛОГІКА ЯК МАТЕМАТИЧНА ОСНОВА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ.....	30
3.1. Основні визначення.....	30
3.2. Види області значень функції належності.....	36
3.3. Нечіткі оператори.....	37
ЛЕКЦІЯ 4. МЕТОДИ ПОБУДОВИ ФУНКЦІЇ НАЛЕЖНОСТІ. ОГЛЯД ОСНОВНИХ МЕТОДІВ.....	40
4.1. Прямі методи для одного експерта.....	40
4.2. Непрямі методи для одного експерта.....	42
4.3. Прямі методи для групи експертів.....	45
4.4. Непрямі методи для групи експертів	47
4.5. Методи побудови терм-множин.....	50
ЛЕКЦІЯ 5. МЕТОДИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ.....	52
5.1. Поняття “кластер” з математичної точки зору.....	52
5.2. Методи кластерного аналізу.....	57
5.2.1 Ієрархічні методи кластерного аналізу.....	57
5.3. Розрахунок мір схожості.....	59
5.3.1. Методи об'єднання або зв'язку для двох кластерів	60

5.3.2. Ієрархічний кластерний аналіз	62
ЛЕКЦІЯ 6. ПРИНЦИПИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ БАГАТОКРИТЕРІЙНОГО ВИБОРУ	63
6.1. Формальні і неформальні аспекти в процедурах прийняття рішень.....	63
6.2. Основні елементи процесу прийняття рішень.....	66
6.3. Принципи багатокритеріального вибору при відсутності невизначеності.....	72
6.4. Оптимальність по Парето.....	74
РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ.....	77
ЛЕКЦІЯ 7. ГІС В СИСТЕМІ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ.....	77
7.1. Геоінформаційні технології в територіальному плануванні.....	77
7.2. Автоматизація розробки пакету документації територіального планування.....	78
7.3. Тривимірний міський геоінформаційний простір.....	80
ЛЕКЦІЯ 8. РОЛЬ МІСЬКОГО КАДАСТРУ ПРИ УПРАВЛІННІ МІСЬКИМИ ТЕРИТОРІЯМИ.....	87
8.1. Міський кадастр як основа для створення інформаційно- управляючих територіальних систем.....	87
8.2. Поняття структуризації територій населених пунктів. Елементи структуризації і їх характеристика.....	88
8.3. Значення географічних інформаційних систем і цифрової топографічної основи при підготовці матеріалів кадастру.....	91
ЛЕКЦІЯ 9. ВИКОРИСТУВАННЯ ГІС В МУНІЦИПАЛЬНОМУ УПРАВЛІННІ....	106
9.1. Огляд наукової літератури з ви користування ГІС в муніципальному управлінні	106
9.2. Сфери застосування муніципальних ГІС	106
9.2.1. ГІС як інструмент чергування топографічної основи.....	106
9.2.2. Муніципальна ГІС для мешканців міста.....	106
9.2.3. Містобудівна ГІС.....	107
9.2.4. Муніципальні ГІС.....	107
9.3. Підходи до проектування МГІС.....	111
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	113
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	114

ВСТУП

Ключ до сталого розвитку територій лежить в оптимальному використуванні і організації життєвого простору. Інструментом, який сприяє оптимальній організації території, є просторове планування. Просторове планування, до якого відносяться схеми територіального планування різних територій і Генеральні плани поселень, є формалізованим уявленням фахівців і проектувальників про оптимальну просторову організацію території. Це уявлення засноване на всесторонньому науковому вивченні природного і соціального чинників: економіко-географічного положення території (міста), природних, промислових, демографічних ресурсів, агропромислового і лісового комплексів, екологічного стану.

Ті негативні проблеми, з якими ми стикаємося в повсякденному житті: забрудненість джерел питної води, розміщення шкідливих виробництв в центрі міст і, як наслідок, мешкання великої частини населення в санітарно-захисних зонах підприємств, велика кількість складів хімічного й іншого виду зброї, вибухових і інших небезпечних речовин в безпосередній близькості до селітебних зон, хижацька рубка лісів, затоплення величезних територій родючих лугів і ріллі та т.п. вся ця спадщина, яка дісталася від неписьменних, з погляду сучасної науки, і кон'юнктурних рішень.

Проектні рішення по просторовому плануванню території охоплюють практично всі аспекти життєдіяльності міста: майданчики нового житлового будівництва і реконструкції фонду, розміщення суспільно-ділових і промислових зон, виділення зон для медичних і навчальних установ, розвиток рекреаційних і спортивних об'єктів, формування природного каркаса міста, що складається з парків, скверів, лісопарків і міських лісів і т.п. Окремі рішення присвячені розвитку вулично-дорожньої мережі і суспільного транспорту, реконструкції і модернізації інженерної інфраструктури (електро-, тепло-, газопостачання, водозабезпечення і водовідведення, інженерна підготовка території та

ін.), захисту території від надзвичайних ситуацій (затоплення, обвали, ерозія, техногенні аварії та ін.), охороні природи.

Створення єдиних муніципальних ГІС дозволяє системно підійти до рішення будь-якого міського завдання. Наприклад, в Харкові розроблена система для цілей інформаційної підтримки управлінських рішень і аналізу міських територій для обліку і збору платні за землю.

Найважливіший етап в розвитку територій - територіальне планування - вже не обходиться без ГІС, які привносять можливість постійної актуалізації необхідної документації, наукову обґрунтованість пропозицій, заснованих на накопичених і наочно представлених даних, можливість моделювання різних сценаріїв, використання створених в ГІС матеріалів для містобудівного і екологічного моніторингу.

Потреба ефективніше вирішувати питання управління, планування, інвентаризації і експлуатації інженерних комунікацій також приводить до упровадження ГІС систем як в муніципальних утвореннях, так і на великих підприємствах.

Сучасна тенденція створювати тривимірні моделі реальності повністю підхоплена і розвинена ГІС технологією. ГІС виступає як база інформаційно-аналітичних систем, інтегруючих в собі актуальні дані, необхідні для управління територіальним плануванням на локальному і регіональному рівнях.

У місті земля повинна розглядатися не тільки як площа, але і як сума деяких підземних і надземних територій. Тому тут невимірний вищий ступінь техногенної і антропогенної дії на всі категорії земель. Якщо землі міста розглядати як об'єкт управління, то кінцевою метою моніторингу земель є збір і постійна актуалізація інформації для ухвалення управлінського рішення.

ГІС дозволяють по-новому, більш глибоко поглянути на проблему територіального планування і управління територією, комплексно підійти до її рішення і надають необхідний для цього інструментарій.

РОЗДІЛ 1. ТЕРИТОРІЯ ТА ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКТОР В УПРАВЛІННІ МІСТОМ

ЛЕКЦІЯ 1. ТИПИ І ЕЛЕМЕНТИ ПЛАНУВАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МІСТА

1.1. Типи і елементи планувальної структури

Містобудування в сучасному розумінні - це теорія і практика планування і забудови міст (поселень), що охоплює комплекс соціально-економічних, санітарно-гігієнічних, технічних і архітектурно-художніх проблем. Економічні задачі включають в собі доцільний вибір, планомірне та економічно виправдане освоєння території для всіх видів будівництва, ефективне використання природних ресурсів, визначення найраціональнішої системи розселення.

До технічних задач відноситься інженерна підготовка території, організація системи вулиць і площ, організація транспортного обслуговування, впорядкування, забезпечення всіма видами інженерного устаткування (каналізація, водо-, тепло-, енергопостачання, зв'язок і т. п.).

Санітарно-гігієнічні завдання включають створення найсприятливіших і здоровіших умов для життя населення (мікроклімат, ступінь озеленення, необхідна інсоляція, чистота повітря, захист навколишнього середовища і т. п.).

Архітектурно-художні задачі включають створення композицій як для поселення в цілому, так і при плануванні окремих його елементів - вулиць, площ, внутрішньоквартальних просторів, створення архітектурно-ландшафтних ансамблів в гармонійному поєднанні будівель з природними умовами місцевості (рельєфом, водоймищами, рослинністю і т. п.).

Всі ці задачі повинні розв'язуватися комплексно в тісному взаємозв'язку як різні сторони єдиного процесу, який і є змістом предмету містобудування.

На планування міст роблять вплив наступні чинники:

- місце міста в системі розселення;
- природно-кліматична характеристика вибраної території;
- профіль та величина містоутворювальної групи підприємств;
- організація транспортних зв'язків між житловими районами та місцями праці;

- врахування перспективного розвитку міста;
- вимоги охорони навколишнього середовища;
- умови інженерного устаткування території;
- вимоги економіки будівництва;
- архітектурно-художні вимоги.

Ці чинники знаходять віддзеркалення в планувальній структурі міста, тобто в поєднанні житлової забудови з місцями масових відвідин, зв'язаних мережею магістральних вулиць і площ.

Переважаання одного з чинників або сумарна дія декількох визначає тип планувальної структури: компактний, розчленований та розподілений.

Компактний тип характеризується розташуванням всіх функціональних зон міста в єдиному периметрі.

Розчленований тип виникає при перетині території міста річками, ярами або транзитною залізницею.

Розподілений тип припускає декілька міських планувальних утворень, які зв'язані між собою транспортними лініями.

Крім того, план міста може мати розчленовано-лінійну форму при розташуванні його уздовж берега великої річки та лінійну, що виникає внаслідок лінійно-паралельного зонування промисловості, житла і характеру процесу розвитку міста.

До основних планувальних елементів міста відносять:

- житлові будівлі, об'єднані в житлові мікрорайони і квартали;
- будівлі адміністративно-суспільних установ і підприємств;
- культурно-побутового обслуговування населення;
- вулиці і площі, набережні, мости і тунелі;
- промислові підприємства;
- пристрої зовнішнього транспорту: залізничного, водного, повітряного, автодорожнього;
- комунальні підприємства і споруди;

- майно внутрішньоміського транспорту, міського водопроводу і каналізації, електростанції і теплоелектроцентралі, газові заводи;
- водоймища природні і штучні;
- санітарно-захисні зони.

1.2. Функціональне зонування території

Сучасне місто є складним організмом, в якому тісно переплітаються соціальні, архітектурно-планувальні, інженерні і економічні засади. Для того, щоб зручно і раціонально організувати життя цього складного організму, в основу планувального рішення міста закладається зонування його території виходячи з функціональних ознак і видів міського будівництва.

Відповідно до ДБН360-92 територія міста по своєму функціональному призначенню ділиться на наступні зони:

а) селітебну зону, в якій розміщуються житлові мікрорайони і квартали; ділянки адміністративно-суспільних установ і установ культурно-побутового обслуговування населення; зовнішньоквартальні зелені насадження та спортивні споруди загального користування; вулиці і площі; окремі промислові підприємства нешкідливого виробничого профілю, склади, засоби зовнішнього транспорту; незручні для забудови і ще не використані ділянки;

б) промислові зони, в яких розміщуються промислові підприємства з обслуговуючими культурно-побутовими установами, вулицями, площами і дорогами, зеленими насадженнями;

в) транспортні зони, займані пристроями зовнішнього транспорту;

г) комунально-складські зони;

д) санітарно-захисні зони, що відділяють промислові підприємства і транспортні пристрої від житла.

Селітебна зона розміщується з навітряного боку для вітрів переважаючого напрямку, а так само вище за течією річок відносно до промислових підприємств, які є джерелами забруднення навколишнього середовища.

Виробнича зона повинна розташовуватися так, щоб можна було організувати зручні транспортні і пішохідні зв'язки з місцями мешкання трудящих, тобто з селітебною зоною. Території для виробничих зон вибирають з урахуванням безперешкодного приєднання їх до ліній зовнішнього транспорту.

Залежно від інтенсивності виділення шкідливих речовин виробничими підприємствами промислова зона розміщується на різній відстані від селітебної. Санітарні норми проектування підрозділяють промислові виробництва на п'ять класів, кожному з яких відповідає своя санітарно-захисна зона (м):

I клас - 1 000;

II - 500;

III - 300;

IV - 100;

V - 50.

Відповідно до такої класифікації в практиці забудови міст визначилися три характерні випадки взаєморозташування виробничої та селітебної зон. У першому випадку селітебна зона розміщується на значній відстані від промислової, яка включає підприємства I і II класів: чорної і кольорової металургії, нафтохімічні і хімічні, крупні цементні заводи, крупні ТЕЦ та ін.

Іноді при особливій шкідливості виробничих виділень ширина захисної зони збільшується до декількох кілометрів. Другий випадок пов'язаний з розміщенням промисловості біля меж селітебної території. При такому розміщенні в промислову зону допускається включення підприємств, які відносяться за санітарною класифікацією до III і IV класів незалежно від величини вантажообігу, а також підприємств V класу, які не виділяють виробничі шкідливості, але вимагають використання залізничних колій. Третій випадок характеризується утворенням виробничо-селітебних районів, в яких промислові підприємства розміщуються в межах селітебної території. Таке розміщення допускається для підприємств IV і V класів, що не вимагають проводки залізничних колій.

При визначенні взаємного розташування промислової та селітебної території враховується і рівень шуму, видаваний окремими видами підприємств.

Комунально-складська зона міста розташовується в зручному зв'язку із зовнішніми транспортними мережами. У комунально-складській зоні виділяються райони для комунальних і складських підприємств. У найбільших, крупних і великих містах такі райони слід розміщувати розосереджено.

Зона зовнішнього транспорту включає території залізничного, автомобільного, водного і повітряного транспорту. Зовнішні транспортні лінії проектує в органічному зв'язку з вулично-дорожньою мережею міста і його видами транспорту. Такий комплексний підхід забезпечує високий рівень комфорту перевезення пасажирів, раціональність місцевих і транзитних вантажних перевезень, а так само сприяє економічності будівництва транспортних об'єктів і їх експлуатації. Комплекс транспортних засобів і споруд зовнішнього і міського значення, які виконують операції на місцевих і міських перевезеннях пасажирів і вантажів, утворюють транспортний вузол.

Селітебна, промислова, транспортна, складська зони разом з супутніми їм санітарно-захисними зонами складають забудовану територію міста. Поза забудованою територією, але в межах міської межі розміщуються міські лісопарки, міські комунальні підприємства і пристрої (розплідники, водозабірні споруди і очисні споруди міського водопроводу, очисні споруди міської каналізації, заводи утилізації, резервні території, які використовуються іноді з сільськогосподарською метою, кладовища та крематорії і т.п.), що за експлуатаційних і санітарно-гігієнічних умов не можуть бути розміщені в забудованій частині міста.

У місті не всі елементи рівнозначні по тяжінню до них населення. Деякі елементи є місцями масового користування: загальноміський, а у великих містах і районні центри, крупні промислові підприємства, найважливіші адміністративно-суспільні установи, вищі навчальні заклади, залізничні і водні вокзали, стадіони, парки. Розміщення цих об'єктів, що створюють великі транспортні потоки, визначає загальну конфігурацію мережі магістральних вулиць і площ міста.

Загальноміський центр завжди був основним ядром, навколо якого організовується план міста. Загальноміський центр розташовується, більш центрально

відносно до всієї забудовуваної території міста, поблизу від перетину основних магістральних вулиць, що зв'язують центр з іншими найважливішими пунктами тяжіння населення.

При цьому вузол перетину основних транспортних потоків повинен розміщуватися поза головною площею центру міста щоб уникнути порушення нормального життя міста транспортом, що проходить площу транзитом.

Велику роль у формуванні планувальної структури міста виконують масиви зелених насаджень і водні простори. При розташуванні міста на обох берегах річки часто має значення одна з основних композиційних осей плану міста.

Планування міст, розташованих на березі моря або озера, відображає тяжіння міста до води. Майже у всіх містах, розташованих на берегах водоймищ, загальноміський центр зміщується від геометричного центру міської території у бік водоймища, а іноді розміщується безпосередньо на його березі.

Поєднання житлових районів, пунктів масових відвідин населенням і мережі магістральних вулиць і площ міста створює загальну планувальну структуру міста.

На практиці склалося шість основних схем побудови вуличних мереж міста:

- радіальна;
- радіально-кільцева;
- променева (віялова);
- прямокутна;
- комбінована;
- вільна.

Перші три характерні для міст, що історично склалися, які формувалися навколо кремлів, монастирів і доріг, що ведуть до них.

Прямокутна схема вуличної мережі використана в багатьох найбільших містах США. Граничний раціоналізм такого рішення робить негативний вплив на архітектурно-художню композицію міста, розвиток внутрішньоміських просторів. Прямокутна схема може знайти позитивне застосування в генеральних

планах середніх і малих міст, що характеризуються невисокою забудовою і гарним озелененням.

Практика забудови нових сучасних міст найчастіше зв'язана з використанням вільної схеми планування вуличних мереж. Така схема дозволяє розташовувати міську забудову, не порушуючи природних природничих умов, і зводити до мінімуму витрати на вертикальне планування території.

1.3. Розвиток планувальної структури міста

Найважливішим моментом при формуванні планувальної структури міста є облік його перспективного розвитку, пов'язаного перш за все з розширенням основних функціональних зон - виробничої і селітебної. Облік перспективного розвитку міста починається на стадії районного планування, коли дане місто розглядається як складова частина групової системи населених місць. Розвиток основних зон міста передбачають в такому напрямі, який не перешкоджає би розвитку сусідніх міст і не допускає би територіального зрощення з ними.

Для розширення міста резервують спеціальні території. Їх розміри і місцезнаходження в загальній планувальній структурі міста визначають виходячи з прогнозів розширення містоутворювальної бази, зростання норми житлової площі на людину, обліку природно-кліматичних чинників, економіко-географічного положення міста, його адміністративно-культурного і наукового значення. Існують орієнтовні нормативи визначення перспективної потреби для основних зон міста. Вони визначаються з розрахунку на 1 тис. жителів.

У практиці склалося декілька характерних схем територіально-просторового розвитку основних зон міста: секторна, паралельна, з двома виробничо-селітебними комплексами в груповій системі населених місць.

У старих містах схема перспективного розвитку багато в чому визначається структурою міста, що історично склалася. У нових містах схема територіально-просторового розвитку передбачається при розробці генерального плану міста на основі обліку відмічених вище чинників.

1.4. Місто як об'єкт системного дослідження

Думка про те, що місто повинне стати об'єктом системного дослідження не нова. Ще один з основоположників загальної теорії систем Л. фон Берталанфі називав міське планування, вади урбанізації, перевантаженість дорогим транспортом в числі невідкладних проблем, що вимагають застосування системного підходу. В дослідженні сучасного міста все більшого значення надають таким поняттям, як «зміна», «зростання», «ієрархічна структура». Яке б з визначень поняття «система» не бралось при цьому за основу і який би зміст не вкладалося в саме слово «місто», його органічна цілісність, високий ступінь взаємозв'язаних елементів незмінно залишається очевидним і дозволяє без коливань віднести місто до розряду системних об'єктів.

Сучасне місто може служити класичним прикладом «організованої складності», а обстановка, яка складається в сучасному містобудуванні (криза механістичних «функціоналістських» концепцій, поява міждисциплінарних досліджень, тяга, що росте, до математизації), схожа на ту, що існувала в інших областях наукового знання, коли виявилися принципові труднощі у вивченні об'єктів класу «організованої складності» традиційними методами і одержав широкий розвиток системний підхід.

У цілому, картина системних досліджень в області містобудування виглядає поки вельми скромно на фоні тих досягнень, які зв'язані із застосуванням системного підходу в інших областях. Загальний стан цих досліджень поки що не відповідає як методологічним можливостям, позначеним в загальнотеоретичних роботах з системного підходу, так і рівню завдань вдосконалення управління розвитком міст.

Причини такого положення багато в чому пояснюються специфікою міських об'єктів. Будь-який з них представляє з себе складну єдність, що включає природні чинники, матеріальні об'єкти, створювані людиною, і самих людей. Зв'язки між становлячими місто підсистемами дуже складні, багатосторонні і в

процесі активного розвитку невпинно зазнають зміни, причому часто такі, які неможливо передбачати на основі попереднього досвіду.

Сам процес формування і розвитку містобудівного об'єкта протікає протягом довгого часу, впродовж якого він повинен більш - менш повноцінно функціонувати. Нарешті, матеріальні елементи, що становлять місто, - будівлі і їх частини, комунікації, інженерні пристрої і т. п. - настільки громіздкі і багатокоштовні, що в процесі його розвитку незмінно виявляється свого роду інерція - необхідність зважати на те, що вже зроблене, це неминуче накладає відбиток на вироблення проектних рішень і стратегію їх реалізації. Ці особливості відрізняють містобудівний об'єкт від технічних систем і до певної міри зближують його з живим організмом. Процес функціонування і розвитку міста можна представити схемою, яка надана на рис. 1.1.

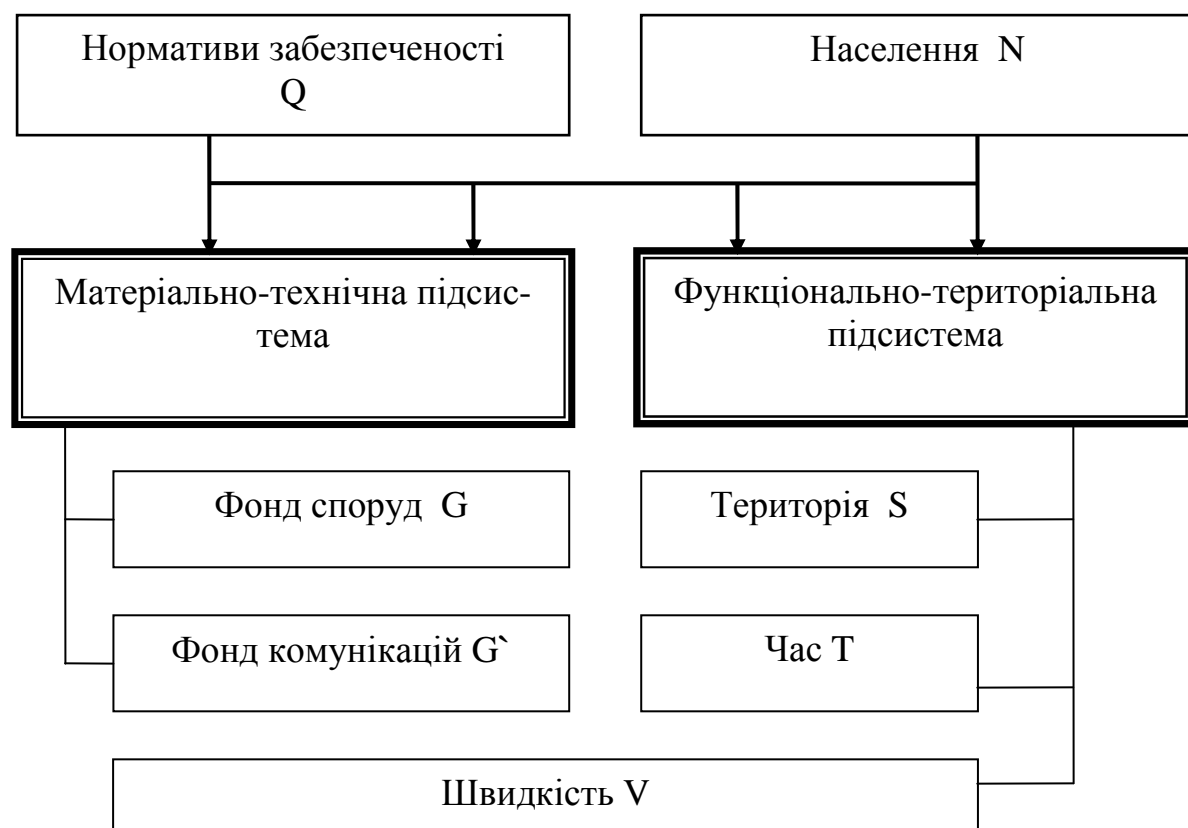


Рис. 1.1 - Процес функціонування і розвитку міста

Зв'язки між соціально-економічними чинниками розвитку всього суспільства і соціально-економічним потенціалом даного міста реалізуються залежно від зміни параметрів всієї народногосподарської системи, яка відбувається відповідно до цілей розвитку суспільства і скоординована з ресурсами цього розвитку.

Процеси, що відбуваються в цій сфері, утворюють верхній відносно до міста рівень і визначають цілі і ресурси його розвитку.

Місто має з цими процесами тісні зв'язки, які реалізують через населення і нормативи забезпеченості. Перший процес визначають розвитком всього народного господарства і розміщення продуктивних сил, другий залежить від рівня добробут і ступені розвиненості міського способу життя.

Власне місто надане на блок-схемі двома підсистемами - матеріально-технічною (або будівельною) і функціонально-територіальною.

Матеріально-технічна підсистема складається з двох блоків: фонд споруд (G), включаючи житловий фонд, об'єкти обслуговування, фонд комунікацій, включаючий інженерну і транспортну інфраструктуру міста (G'). Сумарна вмістимість фонду міських споруд визначається чисельністю населення (N) і нормативами забезпеченості (Q).

Функціонально-територіальна підсистема включає блоки «територія» (S) і «час доступності» (T), які зв'язані між собою через середню швидкість пересування (V). Крім того, територія пов'язана з чисельністю населення через густину населення (P).

Дві підсистеми знаходяться в постійній залежності одна від одної. Так, фонд споруд (G) зв'язаний через густину забудови (P) з характеристиками території і з площею міста (S), яка впливає на протяжність комунікацій.

Швидкість пересувань (V) має додатковий зв'язок з характеристиками комунікацій (G') і залежить від розвиненості транспортної мережі. Час доступності функціональних об'єктів (T) складається з часів доступності за видами поїздок, які відповідно пов'язані з розподілом фонду споруд з функціональних підсистем.

Наявність таких зв'язків дозволяє використовувати різні шляхи для визначення основних параметрів узагальненого опису міста. Так, територія, займана містом при заданій чисельності населення, може бути визначена двома шляхами. Перший - докладніший, за участю великої кількості параметрів, - припускає спочатку розрахунок вмістимості функціональних підсистем (через відповідні

норми забезпеченості), потім — розрахунок потрібної площі міста за елементами територіального балансу (через відповідну густину забудови та ін.).

Другий шлях дозволяє одержати площу міста із залученням тільки одного показника: густота населення, яка в цьому випадку стає узагальненою характеристикою всіх параметрів, що беруть участь в розрахунку при використуванні першого шляху, нормативів забезпеченості густоти забудови та ін. Це ж відноситься до розрахунку середнього часу при заданій території.

Перший докладніший шлях розрахунку припускає використання показників густоти забудови вмістимості функціональних об'єктів і часів доступності, розгорнених за видами поїздок; другий - через середню швидкість пересувань.

Розвиток міста робить опосередкований вплив на функціонально-економічні чинники розвитку суспільства. Цей вплив можна розглядати з точки зору критеріїв соціальної ($f(T, G)$) та економічної ефективності ($f(C, E)$). Прогнозуємо, що соціальна ефективність залежить від часу доступності (T) та нормативів забезпеченості (G), а економічна ефективність - від затрат на будівництво (C) та від експлуатаційних витрат (E).

Структура цих зв'язків визначає тенденції зміни характеристик міста в процесі його розвитку і дозволяє одержати узагальнений опис його стану в будь-який момент часу. Проте цей опис не дає всебічної картини міських процесів. Не випадково що будь-яка спроба строго та повно описати таку складну систему упирається рано чи пізно в недостатньо глибоке знання безлічі підсистем і елементів міста, відсутність дослідницьких засобів і математичного апарату, що дозволяє виявити і формалізувати відносини між ними.

Для рішення таких завдань необхідно розглянути житловий район, місто, систему розселення, як цілісний просторовий об'єкт, відволікаючись від детального емпіричного аналізу його підсистем. Такий об'єкт може бути представлений певним чином, як сукупність організованих матеріально-просторових елементів, причому відносини між ними (які фіксуються відповідними функціонально-просторовими зв'язками) цікавлять дослідника перш за все в аспекті

того, як вони визначають динамічну «поведінку» системи і її розвиток за часами та просторі. Просторова організація будь-якого містобудівного об'єкта тісним чином пов'язана з соціальною організацією суспільства, природними умовами, технічними можливостями і цілим рядом інших чинників і в значній мірі підлегла їм.

Без знання особливостей дії цих чинників і визначення його конкретно-історичних закономірностей не можуть бути ґрунтовними ніякі аналізи і оцінки, а тим більше прогнозування або управління розвитком реальної містобудівної ситуації. Проте сама дія цих чинників і закономірностей виявляється тепер в просторовій організації містобудівних об'єктів і може бути адекватно описано для містобудівних цілей тільки за допомогою системи специфічно просторових уявлень. Тому місто розглядається як просторово-планувальна система, тобто як цілісна сукупність матеріально-просторових елементів, об'єднаних між собою стійкими функціонально-просторовими зв'язками. Ці зв'язки визначають структуру системи.

Міська система при великому різноманітті своїх кількісних параметрів і якісних характеристик відрізняється в більшості випадків достатньо високою стійкістю спостережуваних структур і структурних закономірностей. Тому перенесення уваги на вивчення структури (точніше, структурно-функціональної організації) виявляється достатньо ефективним.

Треба враховувати, зокрема, що на сучасному рівні наукових знань в області містобудування навряд чи правомірно ставити завдання створення всебічної та строго формалізованої теорії. Доцільніше прагнути до формування теоретико-методологічних основ теорії, тобто дослідницької орієнтації, продуктивної для подальшого поглиблення знань про місто і для математичного опису міських структур. Необхідно перш за все сформулювати логічні моделі, які могли б послужити початковим етапом в загальній послідовності розробки адекватних моделей містобудівних систем.

1.5. Місто як об'єкт автоматизації

Під містом, як об'єктом управління, розуміють складну соціально економічну систему, що складається з декількох тісно взаємодіючих елементів:

- населення,
- географічне середовище,
- містоутворююча база, що задовольняє потреби соціально-економічної системи вищого порядку (область, регіон),
- містообслуговуюча база, що забезпечує функціонування, збереження і розвиток самого міста.

Містоутворююча база або міське господарство, - це комплекс розташованих на території міста підприємств, установ і організацій, покликаних задовольняти соціально-побутові потреби проживаючого в ньому населення.

Міське господарство включає в свій склад:

- житлово-комунальне господарство;
- підприємства побутового обслуговування;
- будівельну промисловість;
- підприємства торгівлі;
- підприємства охорони здоров'я;
- підприємства культури та ін.

Сукупність однорідних підприємств міського господарства утворюють галузь (торгівля, житлово-комунальне господарство, охорона здоров'я, культура і т.д.).

Розрахунки показують, що оптимальне управління міським господарством вимагає обробки колосального об'єму інформації.

Міське господарство володіє рядом особливостей, що відрізняють його від промисловості. Ці особливості наступні:

- вироблювана продукція в основному не має речовинної форми, а є послугами, об'єм і якість яких визначається замовником - населенням;

- виробництво і споживання продукції або повністю співпадають за часом, або мають незначний розрив, що вимагає високого ступеня оперативності управління виробництвом послуг відповідно до зміни попиту на послуги;

- кожна з безлічі галузей міського господарства не може замінити іншу і повинна функціонувати в строгій відповідності з іншими галузями, тобто діяльність галузей міського господарства носить комплексний характер;

- наявність значної кількості господарюючих суб'єктів, що не входять в державну або муніципальну власність;

- основний термін оперативного планування діяльності об'єктів міського господарства - робочий день (зміна або доба).

Система управління містом має ієрархічну структуру. На верхньому рівні знаходяться міський законодавчий орган і перші керівники міста, на середньому рівні знаходяться координуючі і плануючі органи (департаменти, комітети і т.д.), на нижньому рівні - технологічні органи, що реалізують конкретні завдання (муніципальні служби і муніципальні підприємства: міського транспорту, комунального господарства, побутового обслуговування, житлового будівництва і т.д.).

Нижче стисло обкреслюються деякі правові аспекти. Питання місцевого значення - це питання безпосереднього забезпечення життєдіяльності населення:

- ухвалення і зміна статутів муніципальних осередків, контроль за їх дотриманням;

- володіння, користування і розпорядження муніципальною власністю ;

- комплексний соціально-економічний розвиток муніципальної освіти;

- зміст і використання муніципального житлового фонду і нежилых приміщень;

- регулювання планування і забудови територій муніципальної освіти;

- створення умов для житлового і соціально-культурного будівництва;

- контроль за використанням земель на території муніципальної освіти;

- організація, зміст і розвиток муніципальних енерго-, газо-, тепло- і водопостачання і каналізації;
- муніципальне дорожнє будівництво і використання доріг місцевого значення;
- впорядкування і озеленення території;
- збереження пам'ятників історії і культури, що знаходяться в муніципальній власності;
- участь в охороні навколишнього середовища на території муніципального осередка;

Зрозуміло, що місто є достатньо складним об'єктом управління і як наслідок складним об'єктом з погляду його автоматизації.

Не викликає сумніву, що розробка і впровадження автоматизованих систем для міста повинні плануватися поетапно, і що процес автоматизації може зайняти достатньо тривалий час. Власне це і має місце насправді.

Аналізуючи реальну ситуацію можна відзначити, що автоматизація міст проходить три фази:

- розробка автономних автоматизованих робочих місць;
- автоматизація окремих функцій або груп функцій (функціональних областей) на базі локальних обчислювальних мереж;
- створення муніципальної інформаційної системи на основі загальноміського телекомунікаційного програмно-технічного середовища.

Автоматизована система в повному об'ємі з'являється на третій найтривалішій фазі, яка в цей час і виходить на перший план для українських міст.

Місто як область для автоматизації володіє рядом специфічних особливостей.

Кількість типів соціально-економічних об'єктів, що виділяються в предметній області міста, порівняно мало. Воно обчислюється десятками, а не сотнями, як в інших предметних областях.

Кількість екземплярів об'єктів дуже велика. Найголовніше полягає в тому, що у цих об'єктів дуже широкий атрибутивний спектр, тобто вони володіють

дуже великим набором атрибутів (відповідно про екземпляр об'єкта потенційно відомо дуже багато фактів).

Автоматизація зачіпає в тому або іншому ступені всі підприємства на території міста і їх можна розбити на чотири групи:

- мерія (зі всіма відділами, комітетами і управліннями);
- муніципальні підприємства;
- інші (немуніципальні) підприємства, що знаходяться на території міста;
- мешканець міста (вироджене підприємство).

При цьому слід мати на увазі, що до 80% даних, вироблюваних підприємством, в ньому ж і використовують.

Будь-яка конкретна автоматизована система мусить жити довго і еволюціонувати разом з містом. Тому вона може ґрунтуватися на не менш довготривалих чинниках, пов'язаних з об'єктом автоматизації, тобто з містом. Такими чинниками є основні функції (вони достатньо стійкі і не міняються десятиліттями), що автоматизуються, і основні соціально-економічні об'єкти (житель міста, підприємство, будівля і т.д.), які в номенклатурі своїй навіть більш життєстійкі, ніж функції.

Структура ж органів управління - більш змінна: раз в чотири-п'ять років вона гарантовано зазнає більш-менш істотні зміни (міняється склад відділів і комітетів мерії, з'являються нові і зникають старі служби, перерозподіляються функції між тематично близькими комітетами і т.д.).

ЛЕКЦІЯ 2. ГЕОГРАФІЧНІ ЧИННИКИ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ

2.1. ГІС як інтеграційне середовище

Географічний чинник в управлінні територіями завжди був одним з домінуючих. Незалежно від рівня управління, стилю керівництва і завдань, будь-то стратегічне планування або рішення господарських "невідкладних" завдань, треба знати географію, де знаходиться об'єкт, і чому він там знаходиться.

Крім того, географічне положення визначає ще і безліч взаємозв'язків між об'єктами. Без урахування тих характеристик, які говорять про місцеположення об'єкта, неможливо не тільки системно оцінити проблему, але і коректно її вирішити. Якраз для вироблення системного підходу до рішення завдань територіального управління в числі фахівців завжди притягувалися і географи (урбаністи, ландшафтознавці, екологи і т.д.).

Ще одна мета, яка традиційно стоїть перед управлінцями - це оптимізація. Адже завдання раціонального розселення, раціонального розміщення виробництва, раціонального використання ресурсів і охорони навколишнього середовища давно є одними з першорядних напрямів, що розглядаються і успішно вирішують методами географії. І саме з використанням найприродніших просторових характеристик об'єктів розв'язують оптимізаційні завдання.

Наприклад, де створити полігон для звалища твердих побутових відходів, щоб мінімізувати економічні витрати, оптимізувати вивіз і при цьому зменшити можливі незручності для населення. Традиційно, подібні завдання можна було вирішити шляхом створення таблиць і карт. Але такий аналіз визрівав в основному в думках фахівців, оскільки створення математичних моделей, а головне, подальший розрахунок з них складний і вимагає дуже багато ресурсів і часу.

Ситуація почала стрімко змінюватися в останні декілька десятиліть, коли комп'ютери і пов'язані з ними технічні новини стали невід'ємною частиною інформаційного суспільства. Кількість накопичуваної і легко доступної інформації стала постійно збільшуватися, з'явилася можливість врахувати і проаналізувати велике число відомих чинників, що роблять вплив на об'єкт або процес. А час на ухвалення рішень (тобто на аналіз цієї інформації і цих чинників), навпаки, став скорочуватися. При таких вимогах, що постійно посилюються, практично неможливо вирішувати масштабні завдання "вручну". У цій ситуації необхідний якісно новий підхід, який дозволив би широко використовувати в повсякденній роботі системи підтримки прийняття управлінських рішень, у тому числі і на основі просторової інформації, і автоматизувати багато процесів, пов'язаних з просторовим аналізом.

Подібний підхід був реалізований в географічних інформаційних системах (ГІС). Треба відзначити, що за останні 15 років ГІС зазнали значні зміни, причому як концептуальні, так і функціональні. Тепер це вже не ті програми, в яких можна було на основі наявних даних створювати карти і... практично все. ГІС сьогодні ще й інтеграційне середовище, що дозволяє об'єднувати і систематизувати потоки різноманітної інформації, яка поступає з багатьох служб і відділів. Все частіше і частіше геоінформаційні системи ставляться біля вершини інформаційної структури відомств і підприємств, хоча в той же час на інших стадіях робочого процесу їх використовують і для професійного аналізу даних, і для "чорнової" роботи введення і підготовки даних.

У "інтеграційній" якості ГІС використовують для вирішення завдань на найвищому рівні територіального управління. Геоінформаційні системи - це технологія універсальна, вона може знайти застосування практично в будь-якій галузі. Але є одна область, де ГІС можуть реалізувати свій потенціал найбільш повно - це управління територією.

Територія це не просто шматок землі, а комплекс різноманітних об'єктів, що взаємодіють один з одним. Природа їх може бути самою різною - це і реальні об'єкти типу колодязів, опори ЛЕП, будівель, озер і т.д., і об'єкти типу урочищ, земельних ділянок, адміністративних одиниць. Всіх їх об'єднує спільність просторового положення, що формує територіальні комплекси. Управління територією, навіть у великих містах, дотепер ведеться багатьма службами розрізнено. Одні відповідають за ділянки землі, інші за будівлі, треті за комунікації, четверті за планування, п'яті за екологію і т.д. У результаті, з одного боку, будь-яким суб'єктам діяльності як громадянам, так і організаціям приходится мати справу з безліччю цих служб, навіть з - за одного об'єкта, з іншого - діяльність самих цих служб і їх документи дуже слабо скоординовані (найчастіше взагалі ніяк).

Таке положення не може довго зберігатися в умовах зростання господарської активності і необхідності розвитку правових відносин. Без інформаційних

технологій (тобто звичних баз даних і засобів телекомунікацій) тут вже настав би повний хаос.

Інтеграція даних, системи "одного вікна" вже істотно полегшують роботу з управління територією. Проте у великих містах сьогодні стала очевидна проблема неузгодженості відомчих інформаційних ресурсів між собою. Для подолання цієї неузгодженості впроваджують загальноміські і загальнорегіональні системи класифікації і кодування. Ці системи створюють загальні мови та засоби кодування і самі коди для всіх об'єктів. Але вони абсолютно безсилі з опису просторових характеристик об'єктів і їх взаїмовідносин, які необхідні для справжньої інтеграції управлінських служб.

Ми підійшли до точки розвитку, за якою подальший прогрес стає практично неможливим без ГІС технологій. Практичний досвід показує, що навіть при простому поєднанні в одній цифровій карті шарів з даними декількох служб стає очевидна жахлива (перш за все з правової точки зору) координатна неузгодженість ресурсів. Про повноцінну інтеграцію таких ресурсів не може бути і мови. Тут бачимо парадокс: з одного боку, сучасні геодезичні технології дозволяють вимірювати координати з сантиметровою точністю наприклад у будівництві, з іншого - координатні описи можуть розходитися на десятки метрів, і навіть форма об'єкта в різних базах може значно розрізнятися.

Основні причини - це відмінність методик вимірювань та збір даних з картографічних джерел різної точності і давності.

Геоінформаційні технології зараз активно впроваджують в багатьох службах управління в якості ефективної підмоги у власній роботі. Створені і створюються різноманітні ГІС на регіональному та місцевому рівнях. У найбільш просунутих територіальних утвореннях навіть створюються спеціальні програми, наприклад, такі, як цільова програма створення ГІС міста Харкова.

Для успіху таких програм разом з рішенням організаційних і фінансових завдань важливо також правильно реалізувати вибір використаних технічних рішень. Якщо ціни на комп'ютери і засоби зв'язку різних виробників і поста-

чальників відрізняються на десятки відсотків, то вартість програмних продуктів для геоінформаційних систем розрізняється в рази .

Програмні продукти ESRI підходять тим, що новачок може вибрати уперше відносно простий і дешевий продукт, а потім, не міняючи програмної технології, нарощувати функціональність, сплачуючи лише різницю у вартості що є вже нового, могутнішого продукту.

Саме так можна йти від ArcView через ArcEditor до ArcInfo, від настільного рішення для одного спеціаліста до розрахованої на багато користувачів ГІС підприємства. А з іншого боку, досвідчені користувачі інформаційних технологій (наприклад, баз даних на основі СУБД Oracle, Informix, SQL Server) можуть відразу придбати комплекс продуктів для створення централізованої або розподіленої ГІС.

Серверні продукти ESRI дають можливість настільним ГІС додаткам (тим же ArcView, ArcEditor, ArcInfo) працювати зі сховищами просторових даних, які розміщуються в таких СУБД. Це приклад переходу від персональної системи на основі ArcGIS до розрахованої на багато користувачів, який не вимагає заміни призначених для користувача додатків, достатньо просто підключити їх до загальної бази даних.

2.2. Підвищення ефективності територіального планування

2.2.1. Розробка генерального плану як рішення завдання динамічної оптимізації

Формально розробку генерального плану можна представити як математичну задачу динамічної оптимізації: досягти максимуму цільових функцій (вартість землі, комфортність населення і ін.) за наявності економічних, територіальних, екологічних та інших видів обмежень і виробити оптимальний план (стратегію).

При цьому вартість землі основна цільова функція. По-перше, вона агрегує цінність території, по-друге, найбільш формалізується і перераховується, по-

третє, пов'язана з окупністю проекту за рахунок підвищення земельного податку, орендної платні і вартості землі під будівництво при продажу на аукціонах.

Через відсутність моделей містобудівники і міські управлінці погано розуміють один одного. Звичайно, на це можна заперечити: по-перше, такі моделі найчастіші непросторові, по-друге, місто дуже складна система, для міста багатокритерійну модель дуже трудно побудувати.

Математичні моделі використовують, наприклад, при кадастровій оцінці земель. Набір початкових даних для неї багато в чому співпадає з набором початкових даних для складання генеральних планів міст. Проте кадастрова оцінка є статичною, закладена в ній методика погано працює при побудові прогнозу кадастрової вартості після зміни значень чинників, суть яких плановані рішення з розвитку міського середовища (нові транспортні магістралі, квартали та ін.). Тому для прогнозу вартості необхідно використовувати інші підходи.

2.2.2. Моделі оптимізації

Моделі оптимізації використовують регулярне розбиття території на осередки однакового розміру або нерегулярне розбиття на облікові територіальні одиниці типу кварталів, як правило, з постійним видом функціонального використання.

До регулярного розбиття простіше застосовувати обчислювальні методи, для нерегулярного - легше збирати початкові дані та інтерпретувати результати. Початковими даними для моделей є наступні значення чинників для елементів розбиття:

- транспортна доступність;
- інженерна забезпеченість і комфортність;
- вартість розселення;
- наявність локусів і їх вплив на сусідні райони;
- чинники, що впливають на вартість освоєння території під даний вид використову-

вання.

Вираз для моделювання побудови функції залежності цільової змінної від значень чинників:

$$C(t) / ij = f(t) / j [(p(t) / 1, ..., p(t) / N)],$$

де t - квантований період часу (рік або декілька років);

i - номер чарунки розбиття;

j - вид функціонального використання.

Містобудівельні рішення міняють значення чинників в осередках, наприклад, будівництво дороги міняє транспортну доступність в довколишніх (і не тільки) чарунках і, відповідно, значення цільової змінної. Вартість містобудівного рішення порівнюється з розрахунковою зміною вартості землі, його окупність обґрунтовується зміною земельного податку та іншими надходженнями. Як правило, оптимізаційні моделі застосовують для оцінки набору містобудівних рішень, одержаних експертним шляхом.

Результатом моделювання є:

- модель, що максимізує вартість землі залежно від вибору варіанта освоєння території;
- альтернативні варіанти освоєння території за кожним з чарунків і оцінка окупності з кожного з них;
- розрахунок орієнтовної вартості будівництва і зміненої вартості землі.

При зміні умов в процесі реалізації генерального плану або на етапі його узгодження можна перерахувати модель і одержати нову картину.

2.2.3. Тематичне моделювання і ГІС-аналіз при розробці генерального плану

Перерахуємо додаткові інструменти тематичного моделювання і ГІС-аналізу, які можна використовувати на етапі створення генплану:

- методики і алгоритми для крупної оцінки заходів щодо освоєння території під конкретний вид використання на основі орієнтовного розрахунку вартості будівництва;
- методики і алгоритми розрахунку орієнтовної вартості квартир після закінчення будівництва на основі зміненої вартості землі і ув'язка її з вартістю будівництва, що є могутнім інструментом для залучення інвесторів;

- укрупнені моделі розрахунку магістральних інженерних мереж на основі їх потреби в кожному кварталі для визначення необхідності будівництва і реконструкції мереж;
- модель розрахунку сумарного екологічного навантаження на території;
- галузеві моделі розміщення об'єктів сервісу на основі моделі розселення і транспортних моделей (використовуючи їх, можна окупити частину витрат, надаючи комерційним організаціям маркетингові послуги);
- оцінка поточних тенденцій в розвитку міського середовища, наприклад, на основі порівняння даних дистанційного зондування за різні періоди.

Нижче перераховані причини, стримуючи масове використання технологій просторового моделювання при містобудівному плануванні:

1. Використовування математичних моделей при розробці містобудівної документації дотепер нормативно не регулювалося і, наскільки я можу судити, не підтримується існуючими методичними розробками.
2. Кваліфікація постановників завдань і системних аналітиків, розробників містобудівної документації недостатня висока.
3. Створення адекватних моделей вимагає ретельнішої підготовки початкових даних. Цільовою ж функцією при виборі міським керівництвом підрядчиків робіт є вартість з дотримання формальних вимог до вихідних матеріалів, а не якість результату.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ

ЛЕКЦІЯ 3. НЕЧІТКА ЛОГІКА ЯК МАТЕМАТИЧНА ОСНОВА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ



3.1. Загальні відомості про нечітку логіку

Математична теорія нечітких множин (fuzzy sets) і нечітка логіка (fuzzy logic) є узагальненнями класичної теорії множин і класичної формальної логіки. Дані поняття були вперше запропоновані американським ученим Лотфі Заді (Lotfi Zadeh) в 1965 р. Лотфі Заді, (народився 4 лютого 1921 в Баку, Азербайджанська РСР) - американський математик, засновник теорії нечітких множин і нечіткої логіки, професор Каліфорнійського університету (Беркли).

Основною причиною появи нової теорії стала наявність нечітких і наближених міркувань при описі людиною процесів, систем, об'єктів. Перш ніж нечіткий підхід до моделювання складних систем одержав визнання у всьому світі, пройшло не одне десятиліття з моменту зародження теорії нечітких множин. І на цьому шляху розвитку нечітких систем прийнято виділяти три періоди.

Перший період (кінець 60-початок 70 рр.) характеризується розвитком теоретичного апарату нечітких множин (Л. Заді). У другому періоді (70–80-ті роки) з'являються перші практичні результати в області нечіткого управління складними технічними системами. Одночасно стало приділятися увага питанням побудови експертних систем, побудованих на нечіткій логіці. Нечіткі експертні системи для підтримки ухвалення рішень знаходять широке застосування в медицині і економіці, транспорті, управлінні організаційно-технічними системами. Нарешті, в третьому періоді, який триває з кінця 80-х років і продовжується до цього часу, з'являються пакети програм для побудови нечітких експертних систем, а області застосування нечіткої логіки помітно розширюються.

Нечітка логіка застосовується в автомобільній, аерокосмічній і транспортній промисловості, в області виробів побутової техніки, у сфері фінансів, аналізу і ухвалення управлінських рішень в містобудуванні і багатьох інших.

Нечіткі множини, як способи формалізації нечіткості, лекції формулюють визначення нечіткої множини, де описуються характеристики нечіткої множини. Наводиться класифікація нечіткої множини за областю значень функції приналежності. Дається аксіоматичний опис операторів для побудови алгебри нечіткої множини.

Теорія нечіткої множини є узагальненням і переосмисленням найважливіших напрямів класичної математики. У її висновках лежать ідеї і досягнення багатозначної логіки; теорії вірогідності, яка, породивши велику кількість різних способів статистичної обробки експериментальних даних, відкрила дорогу визначення і інтерпретації функції належності; дискретної математики, яка запропонувала інструмент для побудови моделей багатовимірних і багаторівневих систем, зручний при вирішенні практичних завдань.

Підхід до формалізації поняття нечіткої множини полягає в узагальненні поняття належності. У звичайній теорії множини існує декілька способів завдання множини. Одним з них є завдання за допомогою характеристичної функції, яка визначається таким чином. Припустимо U - так звана універсальна множина, з елементів якого утворена вся остання множина, що розглядається в даному класі завдань, наприклад множини всіх цілих чисел, множини всіх гладких функцій і так далі. Характеристична функція множини $A \in U$ - це функція μ_A , значення якої вказують, чи $x \in U$ є елементом множини A :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in A, \\ 0, & \text{якщо } x \notin A. \end{cases}$$

Особливістю цієї функції є бінарний характер її значень.

З точки зору характеристичної функції, нечітка множина є природне узагальнення звичайної множини, коли ми відмовляємося від бінарного характеру цієї функції і передбачаємо, що вона може набувати будь-яких значень на відрі-

зку $[0, 1]$. У теорії нечіткої множини характеристична функція називається функцією належності, а її значення $\mu_A(x)$ - мірою належності елемента x нечіткій множині A .

Тобто, нечіткою множиною A називається сукупність пар

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in U \},$$

де μ_A - функція належності, тобто $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$.

Припустимо, наприклад:

$$U = \{a, b, c, d, e\},$$

$$A = \{ \langle a, 0 \rangle, \langle b, 0.1 \rangle, \langle c, 0.5 \rangle, \langle d, 0.9 \rangle, \langle e, 1 \rangle \}.$$

Будемо казати, що елемент a не належить множині A , елемент b належить йому в малій мірі, елемент c більш належить, елемент d належить в значній мірі, e є елементом множини A .

Приклад. Припустимо універсам U є множина дійсних чисел. Нечітка множина A , що позначає множину чисел, близьких до 10 (рис.3.1), можна задати наступною функцією приналежності: $\mu_A(x) = (1 + |x - 10|^m)^{-1}$, де $m \in \mathbb{N}$.

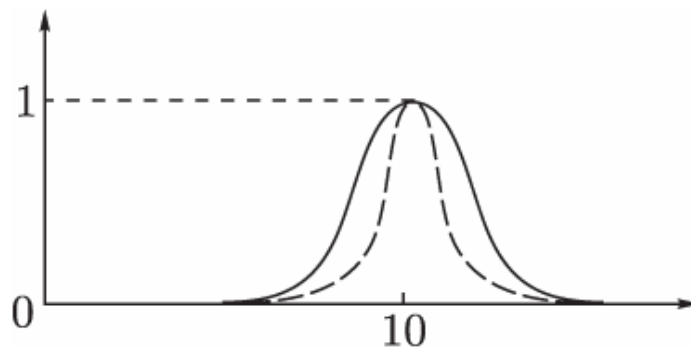


Рис. 3.1 - Функція належності для чисел близьких до 10

Показник міри m вибирається залежно від міри близькості до 10. Наприклад, для опису множини чисел, дуже близьких до 10, можна покласти $m = 4$; для множини чисел, не дуже далеких від 10, $m = 1$.

Приклад. Коротко зупинимось на понятті лінгвістичної змінної. Лінгвістичну змінну можна визначити як змінну, значеннями якої є не числа, а слова або пропозиції природної (або формальної) мови. Наприклад, лінгвістична змінна "вік" може набувати наступних значень: "дуже молодий", "молодий", "середнього віку", "старий", "дуже старий" і ін. Ясно, що змінна "вік" буде звичайною змінною, якщо її значення - точні числа; лінгвістичною вона стає, будучи використаною в нечітких міркуваннях людини.

Кожному значенню лінгвістичної змінної відповідає певна нечітка множина зі своєю функцією приналежності. Так, лінгвістичному значенню "молодий" може відповідати функція належності, яка надана на рис.3.2.

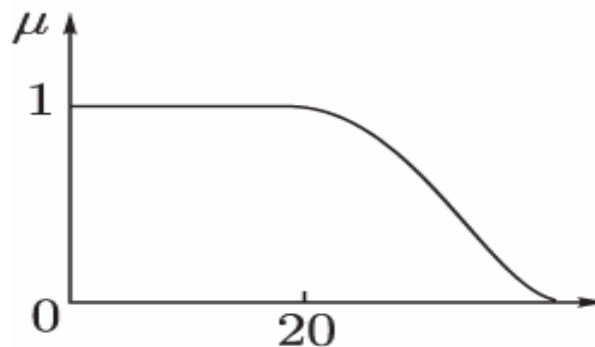


Рис. 3.2 - Функція належності, що відповідає лінгвістичному значенню "молодий"

Над нечіткою множиною можна виконувати різні операції, при цьому необхідно визначити їх так, щоб в окремому випадку, коли множина є чіткою, операції переходили в звичайні операції теорії множини, тобто операції над нечіткою множиною повинні узагальнювати відповідні операції над звичайною множиною. При цьому узагальнення може бути реалізоване різними способами, через що якій-небудь операції над звичайною множиною може відповідати декілька операцій в теорії нечіткої множини.

Для визначення перетинання і об'єднання нечіткої множини найбільшою популярністю користуються наступні три групи операцій:

Максимальні та мінімальні:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}.$$

Алгебраїчні:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x), \quad \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x).$$

Обмежені:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \min\{\mu_A(x) + \mu_B(x)\},$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \max\{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}.$$

Доповнення нечіткої множини у всіх трьох випадках визначають однаково:

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x).$$

Приклад. Припустимо A - нечітка множина "від 5 до 8" (рис. 3.3, а) та B - нечітка множина "близько 4" (рис. 3.3, б), задані своїми функціями належності:

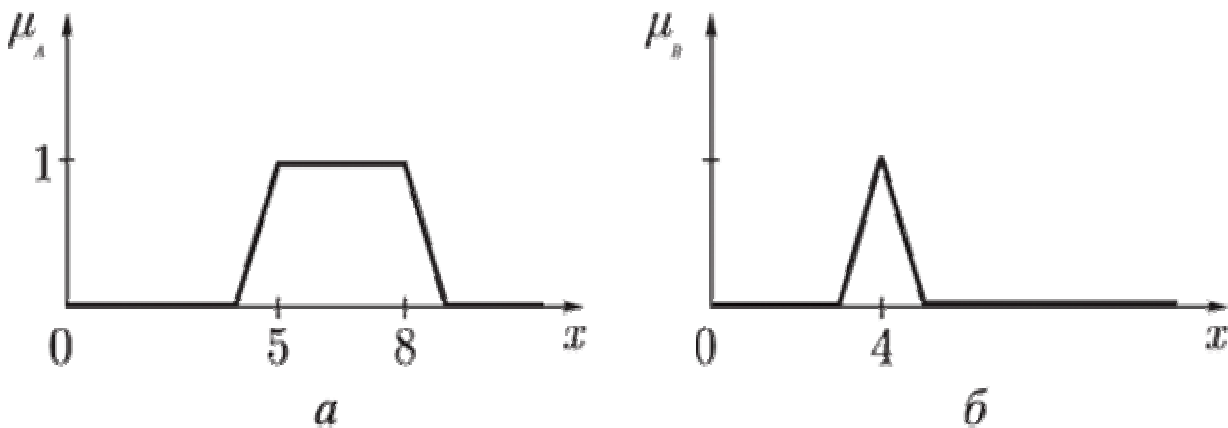


Рис. 3.3

Тоді, використовуючи мінімаксні операції, ми отримаємо множину, показану на рис.3.3.

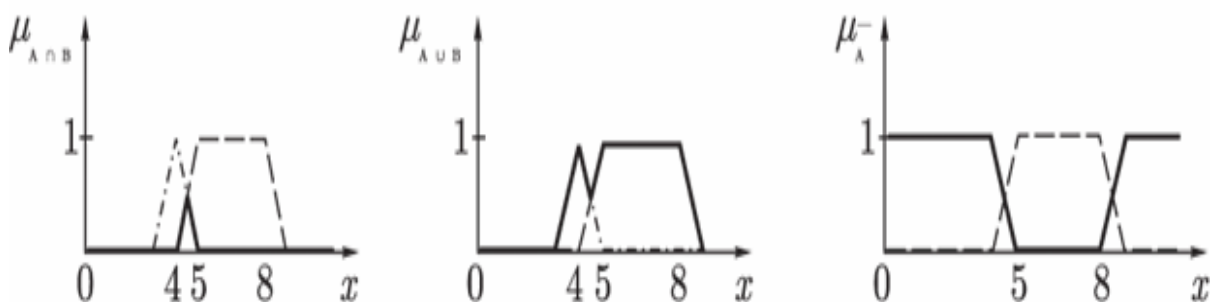


Рис. 3.4

Відмітимо, що при мінімаксному і алгебраїчному визначенні не будуть виконуватися закони протиріччя і виключення третього $A \cap \overline{A} \neq \emptyset, A \cup \overline{A} \neq U$, а в разі об-

межених операцій не виконуватимуться властивості ідемпотентності $A \cup A \neq A, A \cap A \neq A$ і дистрибутивності:

$$A \cup (B \cap C) \neq (A \cup B) \cap (A \cup C), \quad A \cap (B \cup C) \neq (A \cap B) \cup (A \cap C).$$

Можна показати, що при будь-якій побудові операцій об'єднання і перетинання в теорії нечіткої множини доводиться відкидати або закони протиріччя і виключення третього, або закони ідемпотентності і дистрибутивності.

Носієм нечіткої множини A називається чітка множина \bar{A} таких точок в U , для яких величина $\mu_A(x)$ позитивна, тобто $\bar{A} = \{x \mid \mu_A(x) > 0\}$. Висотою нечіткої множини A називається величина $\sup \mu_A(x)$.

Нечітка множина A називається нормальною, якщо $\sup \mu_A(x) = 1$. Інакше воно називається субнормальним.

Нечітка множина називається порожньою, якщо $\forall x \in U \quad (\mu_A(x) = 0)$. Очевидно, що в даному універсумі U існує єдина порожня нечітка множина. Непорожню субнормальну нечітку множину можна привести до нормальної (нормалізувати) за формулою:

$$\mu_{\dot{A}}(x) = \frac{\mu_A(x)}{\sup \mu_A(x)},$$

де α -зрізом нечіткої множини A називається чітка підмножина універсальної множини U , яка визначена за формулою

$$A_\alpha = \{x \mid \mu_{\dot{A}}(x) \geq \alpha\}, \quad \alpha \in [0, 1].$$

Множина строгого рівня визначається у вигляді $A_\alpha = \{x \mid \mu_{\dot{A}}(x) > \alpha\}$.

Зокрема, носієм нечіткої множини є множина елементів, для яких $\mu_A(x) > 0$.

Точка переходу нечіткої множини A - це такий елемент $x \in U$, для якого $\mu_A(x) = 0,5$.

Чітка множина A^* , найближча до нечіткої множини A , визначається таким чином:

$$\mu_{A^*}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \mu_A(x) < 0,5; \\ 1, & \text{якщо } \mu_A(x) > 0,5; \\ 0 \text{ або } 1, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Нечітка множина A в просторі $U = R^n$ називається випуклою нечіткою множиною лише тоді, якщо його функція приналежності є випуклою, тобто для кож-

ної пари точок x і y з U функція приналежності задовольняє рівнянню $\mu_A(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq \min\{\mu_A(x), \mu_A(y)\}$, для будь-якого $\lambda \in [0,1]$.

Принцип узагальнення як одна з основних ідей теорії нечіткої множини носить евристичний характер і дозволяє розширити область визначення вихідного відображення φ на клас нечіткої множини. Припустимо $\varphi: U \rightarrow V$ - задане відображення, і A - нечітка множина, задана на U . Тоді образ нечіткої множини A при відображенні φ є нечітка множина B , задана в V з функцією приналежності

$$\mu_B(y) = \sup_{x \in \varphi^{-1}(y)} \mu_A(x)$$

3.2. Види області значень функції приналежності

Всі нечіткі об'єкти можна класифікувати з вигляду області значень функції приналежності. Окрім інтервалу $[0,1]$, функція приналежності може набувати своїх значень в інтервалі $[-1,1]$, на числовій прямій R , а також в різній множині, наділеній деякою структурою.

Важливим практичним застосуванням для формулювання якісних вистав і оцінок людини в процесі рішення задачі служить випадок S -нечітких множин, де S - кінцева лінійно впорядкована множина. Наприклад, це може бути набір значень лінгвістичною змінною "ЯКІСТЬ" {"погана", "середня", "добра", "відмінна"}.

Гетерогенна нечітка множина. В тому випадку, коли набір нечіткої множини A_i , $i=1, \dots, m$ у U відповідає m різним властивостям даного об'єкта, кожен елемент $x \in U$ характеризується вектором значень функції належності

$$\mu_A(x) = (\mu_1(x), \dots, \mu_m(x)),$$

що виражає міру відповідності цим властивостям. Таким чином, будується функція $\mu: U \rightarrow [0,1]^m$, де $[0,1]^m$ – повний інтервал.

Подальшим узагальненням поняття нечіткої множини є поняття гетерогенної нечіткої множини. За ознакою однорідності/неоднорідності області значень функції належності всі описані вище види нечіткої множини є гомогенними в тому сенсі, що одна і та структура

області значень функції належності береться при оцінці всіх елементів універсальної множини U . Якщо ж допустити, що на різних елементах універсальної множини U функція приналежності може набувати своїх значень з різних найбільш відповідних математичних структур, то ми приходимо до поняття гетерогенної нечіткої множини.

Гетерогенна нечітка множина і пов'язані з ними складені лінгвістичні змінні високого порядку дозволяють моделювати ситуації багатокритеріального ухвалення рішення, коли є ознаки як з кількісними, так і з порядковими шкалами.

3.3. Нечіткі оператори

Важливим питанням використання нечіткої множини в прикладних завданнях є побудова відповідних операторів агрегації нечіткої інформації і аналіз їх семантик. У теорії нечіткої множини є можливість застосувати різні операції об'єднання, перетинання і доповнення множини залежно від контексту і ситуації. Основні бінарні операції над нечіткою множиною були описані вище. Проте можна показати, що для будь-якої нечіткої множини оператори $F = \min$ і $G = \max$ є єдино можливими операторами перетинання і об'єднання при виконанні наступних властивостей:

- комутативність:

$$F(\mu_A, \mu_B) = F(\mu_B, \mu_A), G(\mu_A, \mu_B) = G(\mu_B, \mu_A);$$

- асоціативність:

$$F(\mu_A, F(\mu_B, \mu_C)) = F(F(\mu_A, \mu_B), \mu_C);$$

$$G(\mu_A, G(\mu_B, \mu_C)) = G(G(\mu_A, \mu_B), \mu_C);$$

-дистрибутивність:

$$F(\mu_A, G(\mu_B, \mu_C)) = G(F(\mu_A, \mu_B), F(\mu_A, \mu_C));$$

$$G(\mu_A, F(\mu_B, \mu_C)) = F(G(\mu_A, \mu_B), G(\mu_A, \mu_C));$$

-монотонність:

$$\mu_A \leq \mu_C, \mu_B \leq \mu_D \Rightarrow F(\mu_A, \mu_B) \leq F(\mu_C, \mu_D), G(\mu_A, \mu_B) \leq G(\mu_C, \mu_D).$$

$$\mu_A < \mu_B \Rightarrow F(\mu_A, \mu_A) < F(\mu_B, \mu_B), G(\mu_A, \mu_A) < G(\mu_B, \mu_B).$$

$$F(1, 1) = 1, G(0, 0) = 0.$$

$$F(\mu_A, \mu_B) \leq \min \{ \mu_A, \mu_B \}, \quad G(\mu_A, \mu_B) \leq \max \{ \mu_A, \mu_B \}$$

З іншого боку, ясно, що жорсткі, однозначні оператори недостатньо повно відображають багатозначні лінгвістичні перетворення термів лінгвістичних змінних. Тому великий практичний інтерес представляє побудова узагальнених нечітких операторів, тобто операторів пересічення, об'єднання. Загальний підхід до цілеспрямованого формування нечітких операторів пересічення і об'єднання полягає в їх визначенні в класі трикутних норм і конорм.

Визначення. Трикутною нормою (скорочено t -нормой) називається двомісна дійсна функція $T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, що задовольняє наступним умовам:

- обмеженість: $T(0,0) = 0, T(\mu_A, 1) = T(1, \mu_A) = \mu_A$;
- монотонність: $\mu_A \leq \mu_C, \mu_B \leq \mu_D \Rightarrow T(\mu_A, \mu_B) \leq T(\mu_C, \mu_D)$;
- комутативність: $T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A)$;
- асоціативність: $T(\mu_A, T(\mu_B, \mu_C)) = T(T(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$.

Трикутна норма T є архімедівською, якщо вона безперервна і для будь-якої нечіткої множини μ_A виконана нерівність $T(\mu_A, \mu_A) < \mu_A$. Вона називається строгою, якщо функція T строго збільшується за обома аргументами. Прикладами трикутних норм є наступні оператори:

$$\begin{aligned} T_{\min}(\mu_A, \mu_B) &= \min \{ \mu_A, \mu_B \}; \\ T_p(\mu_A, \mu_B) &= \mu_A \bullet \mu_B, \\ T_{\max}(\mu_A, \mu_B) &= \max \{ 0, \mu_A + \mu_B - 1 \}; \\ T_{\omega}(\mu_A, \mu_B) &= \begin{cases} \mu_C, & \text{якщо } \mu_B = 1; \\ \mu_B, & \text{якщо } \mu_A = 1; \\ 0, & \text{в іншому разі.} \end{cases} \end{aligned}$$

Визначення. Трикутною конормой (скорочено t -конормой) називається двомісна дійсна функція $\perp: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, що задовольняє наступним умовам:

- обмеженість: $\perp(1, 1) = 1, \perp(\mu_A, 0) = \perp(0, \mu_A) = \mu_A$;

- монотонність: $\mu_A \geq \mu_C, \mu_B \geq \mu_D \Rightarrow \perp(\mu_A, \mu_B) \geq \perp(\mu_C, \mu_D)$;
- комутативність: $\perp(\mu_A, \mu_B) = \perp(\mu_B, \mu_A)$;
- асоціативність: $\perp(\mu_A, \perp(\mu_B, \mu_C)) = \perp(\perp(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$.

Трикутна конорма \perp є архімедівською, якщо вона безперервна і для будь-якої нечіткої множини μ_A виконана нерівність $\perp(\mu_A, \mu_B) > \mu_A$. Вона називається строгою, якщо функція \perp строго зменшується за обома аргументами. Прикладами трикутних конорм є наступні оператори:

$$\begin{aligned}\perp_{\max}(\mu_A, \mu_B) &= \max\{\mu_A, \mu_B\}, \\ \perp_p(\mu_A, \mu_B) &= \mu_A + \mu_B - \mu_A \bullet \mu_B, \\ \perp_{\min}(\mu_A, \mu_B) &= \min\{1, \mu_A + \mu_B\}, \\ \perp_{\omega}(\mu_A, \mu_B) &= \begin{cases} \mu_C, & \text{якщо } \mu_B = 0, \\ \mu_B, & \text{якщо } \mu_A = 0, \\ 0, & \text{в іншому разі.} \end{cases}\end{aligned}$$

У теорії нечіткої множини оператор доповнення не є єдиним. Окрім загальновідомого $\forall_x \mu(x) = 1 - \mu(x)$, існує цілий набір операторів доповнення нечіткої множини. Припустимо, задано деяке відображення $\lambda : [0,1] \rightarrow [0,1]$. Це відображення викличе в оператора заперечення в теорії нечіткої множини, якщо виконуються наступні умови:

- (1) $\lambda(0) = 1, \lambda(1) = 0$;
- (2) $\mu_A \leq \mu_B \Rightarrow \lambda(\mu_A) \geq \lambda(\mu_B)$.

Якщо окрім цього виконуються умови:

- (3) λ - строго зменшувана функція;
- (4) λ - безперервна функція

то вона називається строгим запереченням.

Функцію λ називають сильним запереченням або інволюцією, якщо разом з умовами (1) і (2) для неї справедливо:

- (5) $\lambda(\lambda(\mu)) = \mu$.

Наведемо приклади функції заперечення:

- класичне заперечення: $\lambda(\mu) = \mu(x) = 1 - \mu(x)$;

- квадратичне заперечення: $\lambda(\mu) = \sqrt{1 - \mu^2}$;
- заперечення Сугено: $\lambda(\mu) = \frac{1 - \mu}{1 + k\mu}$, где $-1 < k < \infty$;
- доповнення порогового типу: $\lambda(\mu) = \begin{cases} 1 & , \text{ якщо } \mu \leq \alpha, \\ 0 & , \text{ якщо } \mu > \alpha. \end{cases}$

ЛЕКЦІЯ 4. МЕТОДИ ПОБУДОВИ ФУНКЦІЇ НАЛЕЖНОСТІ. ОГЛЯД ОСНОВНИХ МЕТОДІВ

4.1. Прямі методи для одного експерта

Прямі методи для одного експерта полягають в безпосередньому завданні функції, що дозволяє обчислювати значення. Наприклад, припустимо змінна "ВІК" набуває значень з інтервалу $U = [0, 100]$. Слово "МОЛОДИЙ" можна інтерпретувати як ім'я нечіткої підмножини U , яка характеризується функцією сумісності. Таким чином, міра, з якою чисельне значення віку, скажімо $u = 28$, сумісно з поняттям "МОЛОДИЙ", є $0,7$, тоді як сумісність $u = 30$ і $u = 35$ з тим же поняттям є $0,5$ і $0,2$ відповідно.

Розглянемо **метод семантичних диференціалів**. Практично в будь-якій області можна отримати безліч шкал оцінок, використовуючи наступну процедуру:

- визначити список властивостей, за якими оцінюють поняття (об'єкт);
- знайти в цьому списку полярні властивості і сформувати полярну шкалу;
- для кожної пари полюсів оцінити, в якій мірі введене поняття «володіє позитивною властивістю».

Сукупність оцінок за шкалами була названа профілем поняття. Отже, вектор з координатами, що змінюються від 0 до 1, також називається профілем. Профіль є нечітка підмножина позитивного списку властивостей або шкал. Розглянемо приклад. У завданні розпізнавання осіб можна виділити наступні шкали, які надані у табл. 4.1. Світле квадратне обличчя, в якого надзвичайно широ-

кий лоб, кирпатий довгий ніс, широкі світлі очі, загострене підборіддя, може бути визначено як нечітка множина $\{ \langle x_1, 1 \rangle, \langle x_2, 1 \rangle, \langle x_3, 1 \rangle, \dots \langle x_9, 1 \rangle \}$.

Спосіб обчислення часткової приналежності один одному множин.

Припустимо покриттям K звичайної множини U є будь-яка сукупність звичайних підмножин $\{ A_1, \dots, A_k \}$ множини U таких, що $A_i \neq \emptyset, A_1 \cup \dots \cup A_k = U$. В крайньому випадку, коли для будь-яких i, j ($i \neq j$), $A_i \cap A_j$ має місце розбиття U .

Таблиця 4.1.

x_1	Висота лоба	Низько-широкий
x_2	Профіль носа	Горбатий - кирпатий
x_3	Довжина носа	Короткий - довгий
x_4	Розріз очей	Вузькі - широкі
x_5	Колір очей	Темні - світлі
x_6	Форма підборіддя	Загострений-квадратний
x_7	Товщина губ	Тонкі-товсті
x_8	Колір обличчя	Смугляве - світле
x_9	Контур обличчя	Овальне - квадратне

Передбачимо, що $B \subseteq U$, тоді B може розглядатися як нечітка підмножина K з функцією належності

$$\mu_B(A_i) = \frac{|A_i \cap B|}{|A_i \cup B|},$$

де $|A|$ - потужність множини A .

Приклад. Нехай $U = \{1, 2, \dots, 9\}$, $K = \{\{1, 2, 3, 5\}, \{3, 6, 9\}, \{2, 4, 8\}, \{1, 3, 7\}, \{2, 3, 8\}\} = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$, $B = \{2, 3, 5, 8, 9\}$. Тоді, розглядаючи B як нечітку підмножину K , можна написати

$$B = \{\langle A_1, 1/3 \rangle, \langle A_2, 1/3 \rangle, \langle A_3, 1/3 \rangle, \langle A_4, 1/7 \rangle, \langle A_5, 3/5 \rangle\}.$$

Будь-яке рішення задачі багатоцільової оптимізації можна розглядати як нечітку підмножину значень цільової функції таким чином. Припустимо

f_1, \dots, f_k - цільові функції, де $f_i : R^n \rightarrow R$, і припустимо потрібно вирішити завдання $f_i \rightarrow \max$ для всіх i . Припустимо $f_i^* < \infty$ - максимальне значення функції f_i та $C = \{f_1, \dots, f_k\}$ - множина цільових функцій, тоді будь-яке значення x в області визначення f_i можна розглядати як нечітку множину на C з вектором значень функції належності $\mu_x = \langle \mu_1, \dots, \mu_k \rangle$, де $\mu_i = \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^*}$.

4.2. Непрямі методи для одного експерта

У буденному житті ми часто стикаємося з випадками, коли не існує елементарних вимірних властивостей і ознак, які визначають поняття, що нас цікавлять, наприклад, краса, інтелектуальність. Буває важко проранжирувати міру прояви властивості в даних елементах. Оскільки міри належності розглядаються на даній реальній множині, а не в абсолютному сенсі, то інтенсивність приналежності можна визначати, виходячи з попарних порівнянь цих елементів.

Серед **непрямих методів** визначення функції приналежності найбільшого поширення набув **метод парних порівнянь Сааті**. Складність використання цього методу полягає в необхідності знаходження власного вектора матриці парних порівнянь, яка задається за допомогою спеціально запропонованої шкали. Причому ці складнощі збільшуються із зростанням розмірності універсальної множини, на якій задається лінгвістичний терм.

Ми розглянемо метод, що також використовує матрицю парних порівнянь елементів універсальної множини. Але, на відміну від методу Сааті, він не вимагає знаходження власного вектора матриці, тобто звільняє дослідника від трудомістких процедур вирішення характеристичних рівнянь.

Припустимо A - деяка властивість, яка розглядається як лінгвістичний терм. Нечітка множина, за допомогою якої формалізується терм, є сукупністю пар:

$$A = \{ \langle u_1, \mu_A(u_1) \rangle, \langle u_2, \mu_A(u_2) \rangle, \langle u_3, \mu_A(u_3) \rangle, \dots, \langle u_n, \mu_A(u_n) \rangle \},$$

де $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ - універсальна множина, на якій задається нечітка множина A . Завдання полягає в тому, аби визначити значення $\mu_A(u_i)$ для

всіх $i=1, \dots, n$. Сукупність цих значень i складатиме невідому функцію належності.

Метод, який пропонують для вирішення поставленої проблеми, базується на ідеї розподілу мір належності елементів універсальної множини згідно з їх рангами. Ця ідея раніше використовувалася в теорії структурного аналізу систем, де розглянуті різні способи визначення рангів елементів.

У нашому випадку під рангом елемента $u_i \in U$ розумітимемо число $r_A(u_i)$, яке характеризує значущість цього елемента у формуванні властивості, що описується нечітким термом. Допускаємо, що виконується правило: чим більший ранг елемента, тим більша міра належності.

Для подальших побудов введемо такі позначення: $r_A(u_i) = r_i$, $\mu r_A(u_i) = \mu_i$. Тоді правило розподілу мір приналежності можна задати у вигляді системи співвідношень:

$$\begin{cases} \frac{\mu_1}{r_1} = \frac{\mu_2}{r_2} = \frac{\mu_3}{r_3} = \frac{\mu_4}{r_4} = \dots = \frac{\mu_n}{r_n} r_n \\ \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \dots + \mu_n = 1. \end{cases}$$

Використовуючи дані співвідношення, легко визначити міриприналежності всіх елементів універсальної множини через міру приналежності опорного елемента.

Якщо базовим є елемент $u_i \in U$ з приналежністю μ_i , то

$$\mu_j = \frac{r_j}{r_i} \mu_i, \text{ для всіх } j \neq i.$$

Враховуючи умову нормування, знаходимо:

[illegible]

Отримані формули дають можливість обчислювати міри належності елементів $u_i \in U$ до нечіткого терму A двома незалежними напрямками:

1. За абсолютними оцінками рівнів r_i , які визначають згідно з методиками, запропонованим в теорії структурного аналізу систем;

2. За відносними оцінками рангів $\frac{r_i}{r_j} = s_{ij}$, які утворюють матрицю $S=(s_{ij})$.

Ця матриця має наступні властивості:

а) вона діагональна, тобто $s_{ij} = 1, i = 1, \dots, n$;

б) її елементи, які симетричні відносно головної діагоналі, зв'язані залежністю $\frac{1}{s_{ij}} = s_{ji}$;

в) вона транзитивна, тобто $s_{ik} * s_{kj} = s_{ij}$.

Наявність цих властивостей приводе до того, що при відомих елементах одного рядка матриці легко визначити елементи всіх інших рядків. Якщо відомий r -й рядок, тобто елементи, $s_{ij}, j = 1, \dots, n$, то довільний елемент s_{ij} знаходиться так:

$$s_{ij} = \frac{s_{kj}}{s_{ki}}.$$

Оскільки матриця може бути інтерпретована як матриця парних порівнянь рангів, то для експертних оцінок елементів цієї матриці можна використовувати 9 бальну шкалу Сааті (табл. 4.2):

Таблиця 4.2.

Числова оцінка (s_{ij})	Якісна оцінка (порівняння r_i і r_j)
1	відсутність переваги r_i над r_j
3	слабка перевага r_i над r_j
5	істотна перевага r_i над r_j
7	явна перевага r_i над r_j
9	абсолютна перевага r_i над r_j
2, 4, 6, 8	проміжні порівняльні оцінки

Таким чином, за допомогою отриманих формул експертні знання про ранги елементів або їх парні порівняння перетворюють у функцію належності нечіткого терма.

Розглянемо загальний **метод варіювання прототипів набуття чисельного значення функції належності**. Припустимо є прототип (або ідеальний об'єкт) P , опис якого можна характеризувати параметрами p_1, p_2, \dots, p_n . Якщо дано деякий об'єкт A , то, змінив параметри, можна добитися найбільшої відповідності прототипу і об'єкта. Вводиться міра схожості між об'єктом A і прототипом P : $\rho(A, p_1, p_2, \dots, p_n)$.

Для точнішого виміру схожості об'єкта з різними прототипами вводиться штрафна функція d . Далі будується функція:

$$sim(A) = \min_{p_1 \dots p_n} \{ \rho(A, p_1, \dots, p_n) + d(p_1, \dots, p_n) \}$$

Оскільки прототип повністю відповідає самому собі, то $sim(P) = 0$. Чисельні значення функції належності обчислюють за формулою

$$\mu_p(A) = 1 - \frac{sim(A)}{\max sim(A)}.$$

4.3. Прямі методи для групи експертів

При інтерпретації міри належності, як вірогідності, було запропоновано отримувати функції належності для декількох класів понять S_j розрахунковим шляхом, використовуючи рівність $\mu_{S_j}(u_i) = p(S_j | u_i)$, де умовну вірогідність визначають за формулою Байеса:

$$p(S_j | u_i) = \frac{p_{u_i}(S_j) p(u_i | S_j)}{\sum_{j=1}^m p_{u_i}(S_j) p(u_i | S_j)},$$

причому

$$p_{u_i}(S_j) = \frac{(y_i)_{u=u_i}}{n}, \quad j = 1, \dots, m, \quad i = 1, \dots, n,$$

y_i - кількість випадків при значенні параметра u_i , коли вірною виявилася j -а гіпотеза.

Розглянемо наступну методику оцінки функції належності. Спочатку визначається та максимальна кількість класів, яка може бути описана даним набором параметрів. Для кожного елементу u значення функції приналежності класу S_1 доповнює до одиниці значення функції приналежності класу S_2 (в разі двох класів). Таким чином, система повинна складатися з класів, що представляють протилежні події. Сума значень функції приналежності довільного елементу u до системи таких класів дорівнюватиме одиниці. Якщо число класів і їх склад чітко не визначені, то необхідно вводити умовний клас, що включає ті класи, які не виявлені. Далі експерти оцінюють у відсотках при даному стані міру прояву кожного класу з названого переліку.

Проте в деяких випадках думку експерта дуже важко висловити у відсотках, тому прийнятним способом оцінки функції належності буде метод опитування, який полягає в наступному. Оцінюваний стан пред'являється великому числу експертів, і кожен має один голос. Він може однозначно віддати перевагу одному з класів заздалегідь відомого переліку. Значення функції приналежності обчислюють за формулою

$$\mu_s(u) = n_s / n,$$

де n - кількість експертів, що брали участь в експерименті,

n_s - кількість експертів, що проголосували за клас S .

Приклад. Припустимо, що в результаті перепису населення в деякій області з чисельністю жителів p отримана множина значень віку $U = [0, 100]$. Припустимо, що $y(u)$ - кількість людей, які мають вік u і стверджують, що є молодими. Припустимо $n(u)$ - дійсна кількість людей, які мають вік u . Тоді:

$$p = \int_0^{100} dn(u).$$

Можна вважати, що поняття "МОЛОДИЙ" описується нечіткою множиною на U з функцією приналежності $\mu(u) = y(u)/n(y)$. Тоді, щодо для малих значень віку $y(u) = n(u)$, отже $\mu(u) = 1$. Проте, не всі $n(35)$ вважають себе молодими, отже $y(35) < n(35)$. Для $u > 80$ число $y(u)$ має бути дуже маленьким.

4.4. Непрямі методи для групи експертів

Розглянемо спосіб визначення функції приналежності **на основі інтервальних оцінок**. Припустимо інтервал $[x_{ji}, x'_{ji}]$ відображає думку i -го експерта, $i > 1$ ($i = 1, \dots, m$), про значення j -ої ($j = 1, \dots, n$) ознаки оцінюваного поняття S . Тоді повним описом цього поняття i -м експертом є гіперпаралеліпіпед $\theta_i = [x_{1i}, x'_{1i}] \times \dots \times [x_{ni}, x'_{ni}]$. Наводиться процедура, що дозволяє обчислювати коефіцієнти компетентності експертів, а також зводити вихідну "розмиту" функцію (усереднені експертні оцінки) до характеристичної функції нерозмитої, чіткої множини. Алгоритм наступний:

1. Розглядаючи для кожної ознаки j всі інтервали, запропоновані експертами, знаходимо зв'язане покриття їх об'єднання, що складається з інтервалів, які не перетинаються, кінцями яких є лише кінці вихідних інтервалів:

$$[x_{ji}, x'_{ji}], j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_j - 1.$$

2. Будуємо на основі отриманих покриттів гіперпаралеліпіпеди, що не перетинаються:

$$T_k = [x_{1k}, x'_{1k}] \times \dots \times [x_{nk}, x'_{nk}], k = 1, \dots, m'.$$

3. Обчислюємо для $x \in T_k$

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } T_k \cap \Theta_i \neq \emptyset, \\ 0, & \text{якщо } T_k \cap \Theta_i = \emptyset. \end{cases}$$

4. Вважаємо номер ітерації $l = 1$.

5. Вводимо коефіцієнти компетентності

$$\{\lambda_i^l\}_{i=1}^m = \{1/m\}_{i=1}^m.$$

6. Обчислюємо наближення функції належності при нормованих λ_i , тобто $\sum \lambda_i^l = 1$:

$$f^l(x) = \sum_{i=1}^m \varphi_i(x) \lambda_i^l, \quad x \in T_k, \quad k = 1, \dots, m^*.$$

7. Обчислюємо функціонал розузгодження думки i -го експерта з думкою експертної поради на l -ій ітерації:

$$\delta_i^l = \sum_{\substack{x \in T_k \\ k=1, \dots, m^*}} [f^l(x) - \varphi_i(x)]^2, \quad i = 1, \dots, m.$$

8. Обчислюємо $\Delta = \sum_{i=1}^m 1/\delta_i^l$

9. Привласнюємо $l = l + 1$.

10. Обчислюємо $\lambda_i^l = \Delta / \delta_i^{l-1}$

Якщо величина $\max_i |\lambda_i^{l-1} - \lambda_i^l|$ близька до нуля, то обчислення припиняємо і наближенням функції належності вважаємо $f(x) = \mu_s(x)$, інакше повертаємося до кроку 6.

Опишемо коротко **непрямий метод**. Припустимо U - універсальна множина, S - поняття, загальна назва елементів. Завдання визначення нечіткої підмножини U , що описує поняття S , вирішується шляхом опиту експертів. Кожен експерт A_i ($i = 1, \dots, m$) виділяє з U множини елементів Q_i , на його думку, відповідних поняттю S . Ранжируючи всі елементи множини $Q = \bigcup_{i=1}^m Q_i$ за перевагою в сенсі відповідності поняттю S , кожен експерт упорядковує Q , використовуючи відношення порядку \succ або \approx . Відношення \approx вказує на однакову міру переваги між будь-якими елементами $q_\alpha, q_\beta \in Q$. Передбачається, що експерти можуть поставити коефіцієнти міри переваги γ перед елементами у впорядкованій послідовності, підсилюючи або ослаблюючи відношення переваги. Вводиться відстань між елементами вказаної послідовності $q_\alpha^i, q_\beta^i \in Q$:

$$\rho(q_\alpha^i, q_\beta^i) = \frac{1}{\gamma},$$

де α, β , - порядкові номери елементів у впорядкуванні. Відстань обчислюється через перший у впорядкуванні елемент:

$$\rho(q_{\alpha}^i, q_{\beta}^i) = \rho(q_1^i, q_{\beta}^i) - \rho(q_1^i, q_{\alpha}^i) = \rho_{\beta}^i - \rho_{\alpha}^i.$$

Ця різниця показує, наскільки переважно q_{α}^i в порівнянні з q_{β}^i . При рішенні задачі зважування переваги елементів множини Q передбачається, що різниця між вагами $\varphi(q_{\alpha}^i) - \varphi(q_{\beta}^i)$ пропорційна різниці $\rho_{\beta}^i - \rho_{\alpha}^i$:

$$\varphi(q_{\beta \pm \nu}^i) - \varphi(q_{\beta}^i) = c(\rho_{\beta \pm \nu}^i - \rho_{\beta}^i).$$

Коли $\nu = 1$, формула перетворюється на рекурентну формулу, і завдання зводиться до визначення ваги першого елементу. При використанні рекурентних формул вага останнього елементу повинна відрізнятися від нуля.

Наприклад, в якості $\varphi(q_{\alpha}^i)$ можна вибрати $\max \rho_{\alpha}^i + \rho_0$. На підставі всіх $\varphi(q_{\alpha}^i)$ $i = 1, \dots, m$ для q_{α} визначається значення $\varphi(q_{\alpha}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \varphi(q_{\alpha}^i)$; це є міра належності елементу $u \in U$ деякій нечіткій безлічі із загальною назвою S .

Існує ще метод, який поєднує переваги непрямих методів в їх простоті і стійкості до відповідей експертів і переваги прямих методів, що дозволяють набутти безпосередньо значень міри належності. Вибірку об'єктів необхідно проводити так, щоб досить рівномірно представити міру належності від 0 до 1 відносно до даної нечіткої множини. Ця вибірка повинна задовольняти умові беззастережного екстремуму, тобто повинна містити, принаймні, два об'єкти, значення функції приналежності, на яких мають визначеність 0 і 1 (всі експерти приписують ці числа екстремумам). Далі, коли множина відповідних об'єктів відібрана, експерти опитуються про міри приналежності в процентній шкалі. Оцінка позиції за шкалою кожного об'єкта визначається за допомогою медіани з розподілів значень приналежності. Як процедура шкалювання використовується метод, заснований на законі Терстона про вимір категорій. Процедура, що вимагає відсортування n об'єктів в $(k+1)$ категорій на деякому континуумі влас-

тивостей N експертами, дає розподіл частоти для кожного об'єкта за категоріями. Середні значення меж категорій, отримані методом найменших квадратів, дозволяють визначити значення оцінок об'єктів на шкалі.

4.5. Методи побудови терм-множин

Лінгвістичну змінну L використовують при формалізації завдань ухвалення рішення, на практиці має базову терм-множину $T = \{ T_i \}$, що складається з 2-10 термів. Кожен терм описується нечіткою підмножиною множини значень U деякою базовою змінною u і розглядається як лінгвістичне значення L . Передбачається, що об'єднання всіх цих елементів терм-множин покриває повністю U . Це гарантує, що будь-який елемент $u \in U$ описується деяким $T_i \in T$.

Існує спосіб побудови частотних оцінок $S = \{ \text{"рідко", "часто", "інколи"} \dots \}$, який заснований на припущенні про те, що слово s_i вживається людиною не для позначення зареєстрованої частоти появи факту, а для позначення відносного числа подій в минулій діяльності людини, коли розглядалася така ж частота. Кожному s_i ставиться у відповідність нечітка підмножина інтервалу $[0,1]$. Функції приналежності μ_s^i виходять на підставі психологічного експерименту таким чином:

- групі випробовуваних пред'являється набір оцінок частоти і шкала з k категорій, впорядкованих за мірою інтенсивності частоти від найменшої (1) до найбільшої (k);

- випробовуваним пропонується розбити стимули на k класів згідно з інтенсивністю частоти, незалежно оцінюючи кожний стимул і поміщаючи в будь-яку категорію будь-яку кількість стимулів;

- кожному числу u_j з $[0,1]$, $u_j = (j-1)/(k-1)$ ставляться у відповідність міри вживання групою випробовуваних слів s_i для позначення категорії. Значення функції належності визначають в результаті нормування: $\mu_{s_i}(u): [0,1] \rightarrow [0,1]$.

Запропонована методика виправдана наступним: вибір позначення категорії не відбивається скільки-небудь значно на проведенні випробування. По-

перше, число категорій (ділення шкали) не впливає кардинально на результати експерименту, в якому виробляється шкала суб'єктивних відчуттів. По-друге, шкала з категорій є шкалою інтервалів, що рівно здаються, оскільки передбачається, що її ділення відстоять на психологічному континуумі на рівних інтервалах.

Природним кроком при побудові функцій належності елементів терм-множин лінгвістичної змінної є побудова одночасно всіх функцій належності цієї терм-множини, згрупованих в так зване відношення моделювання R . Процес побудови полягає в заповненні таблиці, де, наприклад, для лінгвістичної змінної "ВІДСТАНЬ" стовпці індексовані відстанями в метрах, а рядки - елементами терм-множини "ДУЖЕ БЛИЗЬКО", "БЛИЗЬКО", ..., "ДАЛЕКО", "ДУЖЕ ДАЛЕКО". На пересіченні відповідного рядка і стовпця стоїть міра схожості для випробовуваного даних понять в певній семантичній ситуації, наприклад, наскільки схожі поняття "БЛИЗЬКО" і "5 метрів" в ситуації перебігу вулиці перед транспортом, що швидко йде. Відстань береться від пішохода до машини і в даному випадку є синонімом небезпеки. Взагалі кажучи, кожен клітинку таблиці можна заповнювати окремо, а потім, переставляючи рядки і стовпці, постаратися зробити рядки і стовпці унімодальними. Якщо це вдається, то вихідна терм-множина може бути використана для побудови нечіткої шкали вимірів, точками відліку якої є самі елементи терм-множини. Переклад в цю шкалу здійснюватиметься за допомогою мінімаксного множення рядка, задаючого вихідну лінгвістичну змінну в шкалі метрів, на відношення моделювання. Відношення схожості між елементами терм-множини $R \circ R^T$, отримане за допомогою множення матриці R на транспоновану, задає набір функцій належності елементів лінгвістичної шкали в самій шкалі, а відношення $R^T \circ R$ задає набір функцій належності відстаней в метрах в метричній шкалі.

ЛЕКЦІЯ 5 МЕТОДИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

5.1. Поняття “кластер” з математичної точки зору

Поняття кластеризації використовують активно в управлінні міським середовищем при рішенні різноманітних завдань, зв'язаних з розподілом міської території на архітектурні, ландшафтні, екологічні, економічні зони впливу. Розглянемо поняття "кластер" з математичної точки зору, а також розглянемо методи рішення задач кластеризації - методи кластерного аналізу.

Термін кластерний аналіз, вперше введений Тріоном (Tryon) в 1939 році, включає більше 100 різноманітних алгоритмів.

На відміну від задач класифікації, кластерний аналіз не вимагає апріорних припущень про набір даних, не накладає обмеження на представлення досліджуваних об'єктів, дозволяє аналізувати показники різних типів даних (інтервальним даним, частотам, бінарним даним). При цьому необхідно пам'ятати, що змінні повинні вимірюватися в рівних шкалах.

Кластерний аналіз дозволяє скорочувати розмірність даних, робити їх наочними. Кластерний аналіз може застосовуватися до сукупності тимчасових рядів, тут можуть виділятися періоди схожості деяких показників і визначатися групи тимчасових рядів з схожою динамікою.

Кластерний аналіз паралельно розвивався в декількох напрямках, таких, як біологія, психологія, та ін., тому в більшості методів існує по два і більше назв. Це істотно ускладнює роботу при використанні кластерного аналізу.

Задачі кластерного аналізу можна об'єднати в наступні групи:

- розробка типології або класифікації;
- дослідження концептуальних схем групування об'єктів;
- представлення гіпотез на основі дослідження даних.

Як правило, при практичному використанні кластерного аналізу одночасно розв'язується декілька з вказаних задач. Розглянемо приклад процедури кластерного аналізу.

Припустимо, маємо набір даних A , що складається з 14-ти об'єктів, у яких є по дві властивості X і Y . Дані з них приведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1

№ об'єкту	властивість X	властивість Y
1	27	19
2	11	46
3	25	15
4	36	27
5	35	25
6	10	43
7	11	44
8	36	24
9	26	14
10	26	14
11	9	45
12	33	23
13	27	16
14	10	47

Дані в табличній формі не носять інформативний характер. Представимо властивості 14-ти об'єктів у вигляді діаграми розсіювання, що представлено на рис. 5.1. На рисунку показано декілька груп "схожих" об'єктів. Об'єкти, які по значенням X і Y "схожі" один на одного, належать до однієї групи (кластеру); об'єкти з різних кластерів не схожі один на одного.

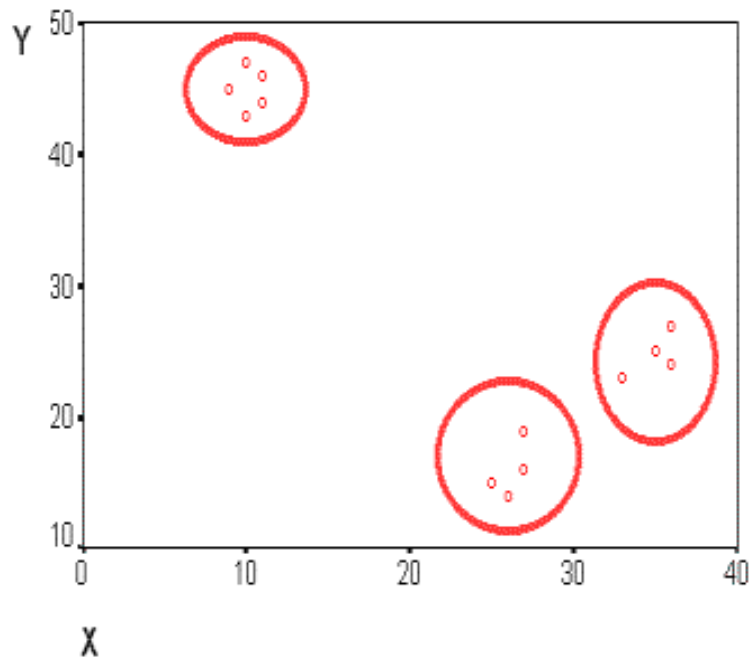


Рис. 5.1 - Діаграма розсіювання властивостей X і Y 14-ти об'єктів

Критерієм для визначення схожості і відмінності кластерів є відстань між точками на діаграмі розсіювання. Цю схожість можна "виміряти", вона дорівнює відстані між точками на графіку. Способів визначення міри відстані між кластерами, що називається ще мірою близькості, існує декілька. Найпоширеніший спосіб - обчислення евклідової відстані між двома точками i і j на площині, коли відомі їх координати x і y :

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (5.1)$$

Примітка: щоб визначити відстань між двома точками, треба взяти різницю їх координат з кожної осі, звести її в квадрат, скласти набуті значення для всіх осей і стягнути квадратне коріння з суми.

Коли осей більш, ніж дві, відстань розраховують таким чином: сума квадратів різниці координат складається із стількох додатків, скільки осей (вимірювань) присутнє в нашому просторі. Наприклад, якщо нам потрібно знайти відстань між двома точками в просторі трьох вимірювань (така ситуація надана на рис. 5.2.), формула (5.1) набуває вигляд:

$$r(O_1, O_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}.$$

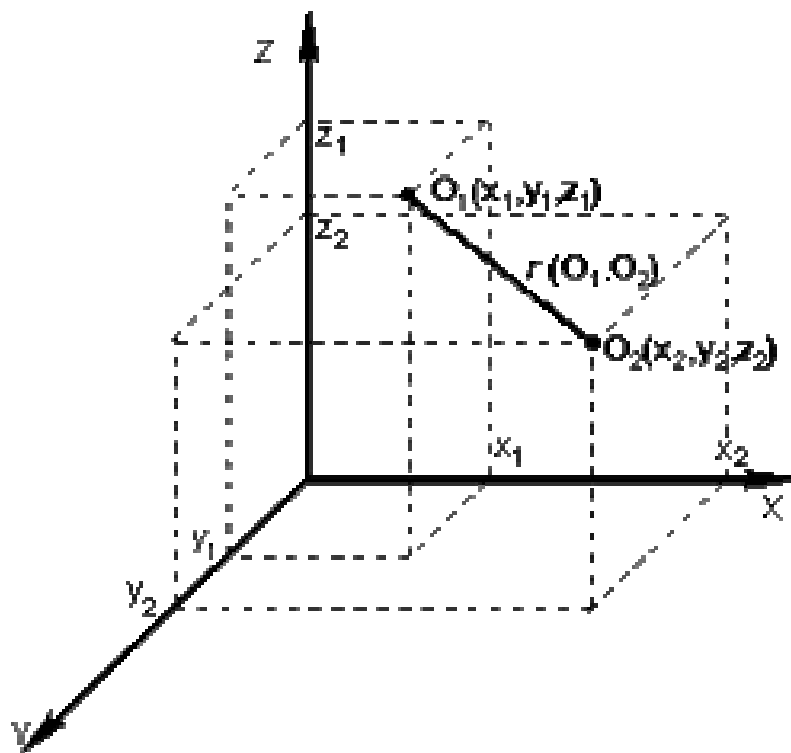


Рис. 5.2 - Відстань між двома точками в просторі трьох вимірювань

Кластер має наступні математичні характеристики: центр, радіус, середньоквадратичне відхилення, розмір кластера.

Центр кластера - це середнє геометричне місце точок в просторі змінних.

Радіус кластера - максимальна відстань точок від центру кластера.

Кластери можуть перекриватися. Така ситуація виникає, коли виявляється перекриття кластерів. У цьому випадку неможливо за допомогою математичних процедур однозначно віднести об'єкт до одного з двох кластерів. Такі об'єкти називають спірними.

Спирний об'єкт - це об'єкт, який згідно міри схожості може бути віднесений до декількох кластерів.

Розмір кластера може бути визначений або за радіусом кластера, або по середньоквадратичному відхиленню об'єктів, що належать до цього кластера.

Об'єкт відноситься до кластера, якщо відстань від об'єкта до центру кластера менше радіусу кластера. Якщо ця умова виконується для двох і більш

кластерів, об'єкт є спірним. Неоднозначність даної задачі може бути усунена експертом або аналітиком.

Робота кластерного аналізу спирається на два припущення. Перше припущення - ознаки об'єкта в принципі допускають бажане розбиття сукупності об'єктів на кластери. Друге припущення - правильність вибору масштабу або одиниць вимірювання ознак.

Вибір масштабу в кластерному аналізі має велике значення. Розглянемо приклад. Припустимо, що дані ознаки x в наборі даних A на два порядки більше даних ознаки y : значення змінної x знаходяться в діапазоні від 100 до 700, а значення змінної y - в діапазоні від 0 до 1. Тоді, при розрахунку величини відстані між точками, що відображають положення об'єктів в просторі їх властивостей, перевагу мають великі значення, тобто змінна x , практично повністю домінуватиме над змінною з малими значеннями, тобто змінною y .

Таким чином через неоднорідність одиниць вимірювання ознак стає неможливо коректно розрахувати відстані між точками.

Ця проблема розв'язується за допомогою попередньої стандартизації змінних. Стандартизація (standardization) або нормування (normalization) приводить значення всіх перетворених змінних до єдиного діапазону значень шляхом виразу через відношення цих значень до якоїсь величини, що відображає певні властивості конкретної ознаки. Існують різні способи нормування початкових даних.

Два найпоширеніших способи:

- розподіл початкових даних на середньоквадратичне відхилення відповідних змінних;
- обчислення Z-внеску або стандартізованого внеску.

Разом із стандартизацією змінних, існує варіант додання кожної з них певного коефіцієнта важливості, або ваги, яка відображає значущість відповідної змінної. В якості ваги можуть виступати експертні оцінки, що одержані в ході опиту експертів - фахівців з предметної області. Одержані експертні оцінки

дозволяють одержувати відстані між точками в багатовимірному просторі з урахуванням неоднакової ваги змінних.

У ході експериментів можливе порівняння результатів, одержаних з урахуванням експертних оцінок і без них, і вибір кращого з них.

5.2. Методи кластерного аналізу

Методи кластерного аналізу можна розділити на дві групи:

- ієрархічні;
- неієрархічні.

Кожна з груп включає безліч підходів і алгоритмів. Використовуючи різні методи кластерного аналізу, аналітик може одержати різні рішення для одних і тих же даних. Це вважається нормальним явищем. Розглянемо ієрархічні і неієрархічні методи більш детально.

5.2.2. Ієрархічні методи кластерного аналізу.

Суть ієрархічної кластеризації полягає в послідовному об'єднанні менших кластерів у великі або розділенні великих кластерів на менші.

Ієрархічні агломеративні методи (Agglomerative Nesting, AGNES). Ця група методів характеризується послідовним об'єднанням початкових елементів і відповідним зменшенням числа кластерів. На початку роботи алгоритму всі об'єкти є окремими кластерами. На першому кроці найбільш схожі об'єкти об'єднуються у кластер. На подальших кроках об'єднання продовжується до тих пір, поки всі об'єкти не складатимуть один кластер.

Ієрархічні ділені методи (DIvisive ANAlysis, DIANA). Ці методи є логічною протилежністю агломеративним методам. На початку роботи алгоритму всі об'єкти належать одному кластеру, який на подальших кроках розділяється на менші кластери, в результаті будується послідовність розщеплюючих груп.

Принцип роботи описаних вище груп методів у вигляді дендрограми, що показаний на рис 5.3.

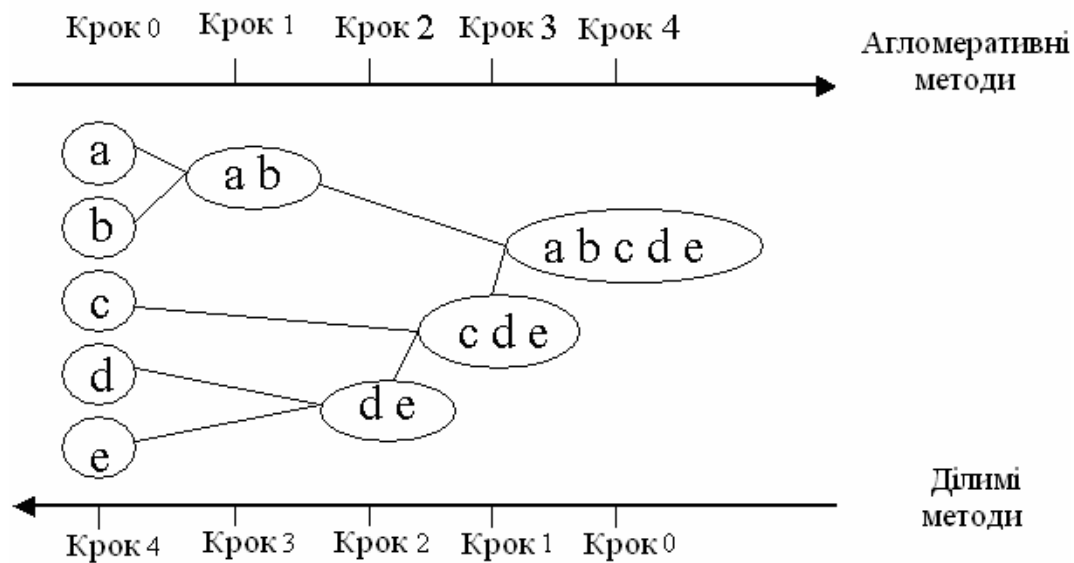


Рис. 5.3 - Дендрограма агломеративних і діливих методів

Програмна реалізація алгоритмів кластерного аналізу широко представлена в різних інструментах Data Mining, які дозволяють вирішувати задачі досить великої розмірності. Наприклад, агломеративні методи реалізовані в пакеті SPSS, ділимі методи - в пакеті Statgraf.

Ієрархічні методи кластеризації розрізняються правилами побудови кластерів. Як правило, виступають критерії, які використовують при вирішенні питання про "схожість" об'єктів при їх об'єднанні в групу (агломеративні методи) або розділення на групи (ділимі методи). Ієрархічні методи кластерного аналізу використовують при невеликих об'ємах наборів даних.

Перевагою ієрархічних методів кластеризації є їх наочність. Ієрархічні алгоритми пов'язані з побудовою дендрограмм (від грецького dendron - "дерево"), які є результатом ієрархічного кластерного аналізу. Дендрограма описує близькість окремих точок і кластерів один до одного, представляє в графічному вигляді послідовність об'єднання (розділення) кластерів.

Дендрограма (dendrogram) - деревовидна діаграма, що містить n рівнів, кожний з яких відповідає одному з кроків процесу послідовного укрупнення кластерів.

Дендрограму також називають деревовидною схемою, деревом об'єднання кластерів, деревом ієрархічної структури. Дендрограма є вкладеним угрупованням об'єктів, яке змінюється на різних рівнях ієрархії.

Існує багато способів побудови дендрограм. У дендрограмі об'єкти можуть розташовуватися вертикально або горизонтально. Приклад вертикальної дендрограми наведено на рис. 5.4.

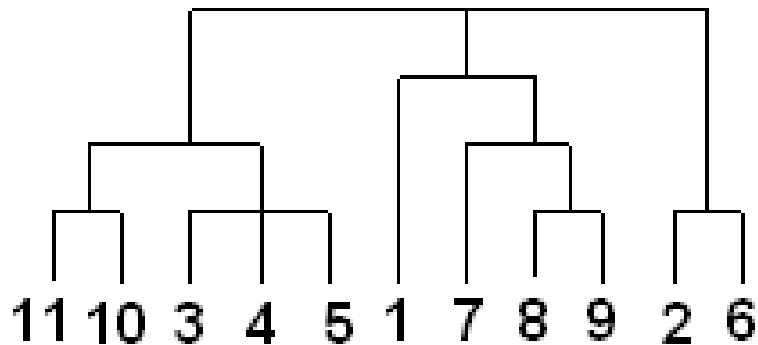


Рис. 5.4 - Приклад дендрограм

Числа 11, 10, 3 і т.д. відповідають номерам об'єктів або спостережень початкової вибірки. З рисунку видно, що на першому кроці кожне спостереження представляє один кластер (вертикальна лінія), на другому кроці спостерігаємо об'єднання таких спостережень: 11 і 10; 3, 4 і 5; 8 і 9; 2 і 6. На другому кроці продовжується об'єднання в кластери: спостереження 11, 10, 3, 4, 5 і 7, 8, 9. Даний процес продовжується до тих пір, поки всі спостереження не об'єднуються в один кластер.

5.3. Розрахунок мір схожості

Для розрахунку відстані між об'єктами використовують різні заходи схожості (заходи подібності), які називаються метриками або функціями відстаней. Вище була розглянута евклідова відстань, це найпопулярніша міра схожості. Треба відмітити, що існують ще ряд методів розрахунку мір схожості. Це такі методи як:

- квадрат евклідової відстані;
- манхеттенська відстань;

- відстань Чебишева;
- відсоток незгоди.

Квадрат евклідової відстані. Для додання великих вагів віддаленим один від одного об'єктам використовують квадрат евклідової відстані.

Манхеттенська відстань (відстань міських кварталів), також називають як "хеммінгова" або "сіті-блок" відстань. Цю відстань розраховують як середню різницю за координатами. В більшості випадків цей захід відстані приводить до результатів, подібних розрахункам для квадрата евклідової відстані.

Відстань Чебишева. Цю відстань варто використовувати, коли необхідно визначити два об'єкти як "різні", якщо вони відрізняються за якимось одним вимірюванням.

Відсоток незгоди. Цю відстань обчислюють, якщо дані є категоріальними.

5.3.1. Методи об'єднання або зв'язку для двох кластерів

Коли кожен об'єкт є окремим кластером, відстані між цими об'єктами визначають вибраною мірою. Виникає наступне питання - як визначити відстані між кластерами? Існують різні правила, які називаються методами об'єднання або зв'язку для двох кластерів.

Метод ближнього сусіда або одиночний зв'язок. Тут відстань між двома кластерами визначається відстанню між двома найближчими об'єктами (найближчими сусідами) в різних кластерах. Цей метод дозволяє виділяти кластери скільки завгодно складної форми за умови, що різні частини таких кластерів сполучені ланцюжками близьких один до одного елементів. У результаті роботи цього методу кластери представляються довгими "ланцюжками" або "волоконними" кластерами, "зчепленими разом" тільки окремими елементами, які випадково виявилися ближче за інших один до одного.

Метод найбільш видалених сусідів або повний зв'язок. Тут відстані між кластерами визначаються найбільшою відстанню між будь-якими двома об'єктами в різних кластерах (тобто найбільш "видаленими сусідами"). Метод добре використовувати, коли об'єкти дійсно походять з різних "областей". Якщо ж

кластери мають в деякому роді подовжену форму або їх природний тип є "ланцюговим", то цей метод не слід використовувати.

Метод Варда (Ward's method). Як відстань між кластерами береться приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів кластерів, одержуваний в результаті їх об'єднання. На відміну від інших методів кластерного аналізу для оцінки відстаней між кластерами, тут використовують методи дисперсійного аналізу. На кожному кроці алгоритму об'єднуються такі два кластери, які приводять до мінімального збільшення цільової функції, тобто внутрішньогрупової суми квадратів. Цей метод направлений на об'єднання близько розташованих кластерів і "прагне" створювати кластери малого розміру.

Метод незваженого попарного середнього (метод незваженого попарного арифметичного середнього - unweighted pair-group method using arithmetic averages, UPGMA). Як відстань між двома кластерами береться середня відстань між всіма парами об'єктів в них. Цей метод слід використовувати, якщо об'єкти дійсно походять з різних "районів", у випадках присутності кластерів типу "ланцюжка", при припущенні нерівних розмірів кластерів.

Метод зваженого попарного середнього (метод зваженого попарного арифметичного середнього - weighted pair-group method using arithmetic averages, WPGM). Цей метод схожий на метод незваженого попарного середнього, різниця полягає лише у тому, що тут як ваговий коефіцієнт використовують розмір кластера (число об'єктів, що містяться в кластері). Цей метод рекомендується використовувати саме за наявності припущення про кластери різних розмірів.

Незважений центроїдний метод (метод незваженого попарного центроїдного усереднювання - unweighted pair-group method using the centroid average). Як відстань між двома кластерами в цьому методі береться відстань між їх центрами тяжкості.

Зважений центроїдний метод (метод зваженого попарного центроїдного усереднювання - weighted pair-group method using the centroid average, WPGMC). Цей метод схожий на попередній, різниця полягає у тому, що для

обліку різниці між розмірами кластерів (числі об'єктів в них), використовують вагу. Цей метод переважно використовувати у випадках, якщо є припущення щодо істотних відмінностей в розмірах кластерів.

5.3.2. Ієрархічний кластерний аналіз

Розглянемо процедуру ієрархічного кластерного аналізу. Процедура ієрархічного кластерного аналізу передбачає угруповання як об'єктів (рядків матриці даних), так і змінних (стовпців). Можна вважати, що в останньому випадку роль об'єктів виконують змінні, а роль змінних - стовпці.

У цьому методі реалізується ієрархічний агломеративний алгоритм, значення якого полягає в наступному. Перед початком кластеризації всі об'єкти вважаються окремими кластерами, в ході алгоритму вони об'єднуються. Спочатку вибирається пара найближчих кластерів, які об'єднуються в один кластер. У результаті кількість кластерів стає рівною $N-1$. Процедура повторюється, поки всі класи не об'єднуються. На будь-якому етапі об'єднання можна перервати, одержавши потрібне число кластерів. Таким чином, результат роботи алгоритму агрегації залежить від способів обчислення відстані між об'єктами і визначення близькості між кластерами. Для визначення відстані між парою кластерів можуть бути сформульовані різні підходи. З урахуванням цього передбачені наступні методи:

- розрахунок середньої відстані між кластерами (Between-groups linkage) ;
- розрахунок середньої відстані між всіма об'єктами пари кластерів з урахуванням відстаней усередині кластерів (Within-groups linkage).
- розрахунок відстані між найближчими сусідами - найближчими об'єктами кластерів (Nearest neighbor).
- розрахунок відстані між найдальшими сусідами (Furthest neighbor).
- розрахунок відстані між центрами кластерів (Centroid clustering) або центроїдний метод.

ЛЕКЦІЯ 6. ПРИНЦИПИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ

6.1. Формальні та неформальні аспекти в процедурах прийняття рішень

При розвитку міста досить важко встановити єдину мету, але навіть якщо це вдалося, така ціль виявилася занадто декларативною. Тому звичайно формулюються приватні цілі, або критерії, і загальна мета описується в термінах цих критеріїв. Так, наприклад, задоволення потреб городян у комфортних умовах проживання й роботи вимагає збільшення житлової площі, озеленення, віддалення житлових кварталів від промислових об'єктів, і таким чином, збільшення території міста. У той же час очевидно представляється одна із цілей розвитку міста - мінімальний вплив на оточуюче його природне середовище, а тому, якщо не зменшення, то хоча б стабілізація його розмірів. Значна роль великих міст в економічному потенціалі країни не дозволяє суттєво знизити частку населення, працівників у промисловості, а отже, підвищити частку населення, працівників у сфері обслуговування. І нарешті, поліпшення побутових умов, що призводить до розширення міста, одночасно спричиняє збільшення відстаней і погіршення умов проживання в місті за рахунок більшої витрати часу на пересування.

Ці приклади можна продовжити і дійти до такого висновку: суперечливість різних аспектів розвитку міста не дозволяє використовувати суто формальні способи оптимізації цього процесу. Певним підтвердженням цієї обставини є розглянута вище проблема понять оптимальності. Оцінюючи варіанти міських планувальних структур векторним критерієм, ми неминуче стикаємося з неможливістю ввести універсальне поняття оптимальності. Результатом такої ситуації є виникнення безлічі «оптимальних» розв'язань.

У розв'язанні багатокритеріального завдання необхідна участь як мінімум двох осіб (або двох груп осіб) — «дослідника» і «фахівця». Завданням «дослідника» є пропозиція формальних способів обліку багатокритеріальності, а також застосування обчислювальних методів. Завдання «фахівця» полягає у

виборі одного із запропонованих способів, а потім у виборі або прийнятті того або іншого рішення. Тому в сучасній літературі «фахівця» називають особою, яка приймає рішення (ОПР), підкреслюючи тим самим, що саме йому належить право розв'язання таких завдань і, певна річ, відповідальність за наслідки цих рішень.

Значною мірою процес прийняття складного рішення враховує психологічні фактори - з одного боку, особистість та інтуїцію ОПР, а з іншого боку, здатність урахувати особливості цієї особистості в запропонованих «дослідником» способах.

Процедури прийняття рішення в багатокритеріальних завданнях можна розділити на два класи. Перший з них характеризується участю ОПР лише на первинному етапі вибору процедури рішення. Вибравши ту або іншу процедуру, він одержує одне рішення як результат застосування деякого обчислювального алгоритму. Такі процедури будемо називати алгоритмічними. Другий клас процедур характеризується суттєво активнішою участю ОПР як на етапі вибору процедури, так і в процесі її застосування. Фактично в процесі ухвалення рішення відбувається діалог між ОПР і «дослідником», і тому ці процедури названі діалоговими. Слід зазначити, що при оптимізації складних систем варіанти для ОПР готуються на обчислювальній машині, в якій реалізована розроблена «дослідником» і обрана ОПР модель. Сучасні засоби програмного забезпечення настільки розвинені, що порівняно легко організувати взаємодію ОПР безпосередньо з комп'ютером. Тому такі процедури прийняття рішень називають інтерактивними або людино-машинними.

Особливий випадок виникає тоді, коли в якості ОПР виступає група експертів, покликаних оцінювати запропоновані рішення. Крім того, експертні оцінки дозволяють давати якісним показникам числові значення, що набуває особливої важливості при розв'язанні багатокритеріальних завдань.

Із розгляду проблеми ухвалення містобудівного вирішення вже стає ясным, що формальні й неформальні, об'єктивні й суб'єктивні її аспекти досить сильно переплітаються один з одним.

Перелік цілей у будь-якому складному завданні є суб'єктивним. Однак, такі завдання, як правило, мають досить тривалу історію і за цей час фахівці встигають домовитися хоча б про головні цілі. Більш складне питання виникає при формалізації цілей, тобто визначенні відповідних їм числових функцій. Іноді введення таких функцій природно. Так, вартість спорудження складної системи є сума вартостей її підсистем і їх з'єднань (останні, втім, можна вважати однією з підсистем). Як правило, будь-яка формалізація є окремий випадок моделювання явища й тому відбиває лише головні риси досліджуваного явища. Так, наприклад, знецінювання капіталовкладень у часі прийнято вважати експонентним. Така залежність у головному правильно оцінює розглянуте явище. Проте слід відзначити, що вона набула дуже широкого розповсюдження, у першу чергу, через свою простоту. Аналогічно, при оцінці якості системи керування багатомірним об'єктом систему вважають «доброю» при забезпеченні досить малого значення відстані до деякої ідеальної точки.

Таким чином, уже при формалізації завдання ухвалення рішення значна роль надається фахівцям у розглянутій області й сформульований, нарешті, список цілей і відповідних їм числових функцій можна вважати об'єктивним у тому розумінні, що його визнає більшість фахівців у даній області.

Важлива роль належить ОПР при виборі з нескінченної множини оптимальних рішень, утвореної формальним шляхом за допомогою прийнятого поняття оптимальності. Звичайно, цей процес суб'єктивний, навіть можна стверджувати - суцільно індивідуальний.

Завжди так хочеться його замінити алгоритмом. Але, інша ОПР вибирає з тієї ж множини, при тій самій зовнішній обстановці, найчастіше інше рішення.

Одним з результатів міркувань дослідників над цією проблемою з'явилася теорія корисності. Відповідно до цієї теорії передбачається існування в ОПР деякої функції корисності, визначеної на множині рішень (або на множині значень

критеріїв). ОПР вибирає рішення так, щоб максимізувати власну функцію корисності. Існують різні аксіоматичні підходи до побудови функцій корисності, які будуть розглянуті надалі.

Таким чином, після угоди про перелік цілей, виділення рішень-кандидатів на вибір є об'єктивним і вже не залежить від переваг ОПР. Вибір же остаточного рішення з цих кандидатів тією чи іншою мірою враховує переваги ОПР, і в цьому сенсі є суб'єктивним.

6.2. Основні елементи процесу прийняття рішень

Процес прийняття рішення - це складна багатоетапна процедура. Вище вже згадувалося, що прийняття рішень завжди пов'язується з конкретною людиною - особою, яка приймає рішення (ОПР), наділеним відповідними адміністративними повноваженнями. Це не означає, що рішення завжди приймається кимсь одноосібно: у багатьох випадках можна ототожнювати ОПР із групою людей, які доходять до рішень у процесі дискусій. При цьому виникає специфічна проблема пошуку рішення, який влаштовує всіх членів групи управління. Зупинимось на цій проблемі докладніше нижче, але поки зручно вважати, що ОПР - це якась ланка управління, яка приймає рішення.

Процес прийняття рішення має починатися з формулювання проблеми. Розв'язання більшості реальних проблем неминуче вимагає обліку різноманітних цілей. Наведемо приклади проблем, пов'язаних з функціонуванням великого сучасного міста.

1. Поліпшення транспортного обслуговування мешканців міста в перспективі на 15 років.
2. Боротьба із забрудненням повітряного середовища міста.
3. Будівництво нового аеропорту.
4. Будівництво нових мікрорайонів.
5. Боротьба з поширенням небезпечних інфекцій і наркоманії.

6. Поліпшення енергозабезпечення промисловості та мешканців міста в перспективі на 15 років.

Можна привести ще багато інших прикладів проблем, які постають перед керівництвом великого міста, але з названих прикладів можна бачити, що кожна проблема являє собою сукупність багатьох часток підпроблем. ОПР слід провести структурування проблеми, розв'язанням якої він тепер займається, тобто виділити ці частки підпроблеми.

Розглянемо для прикладу проблему «Поліпшення транспортного обслуговування мешканців міста в перспективі на 15 років». Підпроблеми, які тут можна виділити, такі:

- а) будівництво нових і модернізація існуючих транспортних магістралей;
- б) будівництво нових і модернізація існуючих ліній метрополітену;
- в) розширення парку громадського транспорту;
- г) будівництво автозаправок;
- д) будівництво великих багатоярусних автостоянок.

Зафіксуємо одну з перерахованих підпроблем, наприклад, підпроблему д), припускаючи, що мова йде про будівництво однієї автостоянки для певного міського мікрорайону. На цьому прикладі ми продемонструємо основні елементи загального процесу прийняття рішень.

Блок-схема процедури ухвалення вирішення (стосовно до конкретно сформульованої підпроблеми загальної проблеми) показана на рис. 6.1. Розглянемо зміст елементів цієї блок-схеми. Є множина варіантів вибору рішень, або множина альтернатив U . Ця множина може складатися з кінцевого числа елементів або кінцевого числа альтернатив, і тоді їх можна перенумерувати та уявити, що U - це підмножина натуральних чисел. Але може виявитися й так, що кількість альтернатив нескінченно. Така ситуація виникає в тому випадку, якщо вибір рішень зводиться до вибору дійсного числа або n -мірного вектора з деякої нескінченної числової множини або множини в n -мірному просторі.

Наприклад, при вирішенні питання про інвестиційний портфель сукупність альтернатив - це всі можливі набори часток вкладень засобів у різні активи, тобто

всі можливі набори ненегативних чисел, сума яких дорівнює одиниці й, можливо, підпорядкованих деяким додатковим умовам.

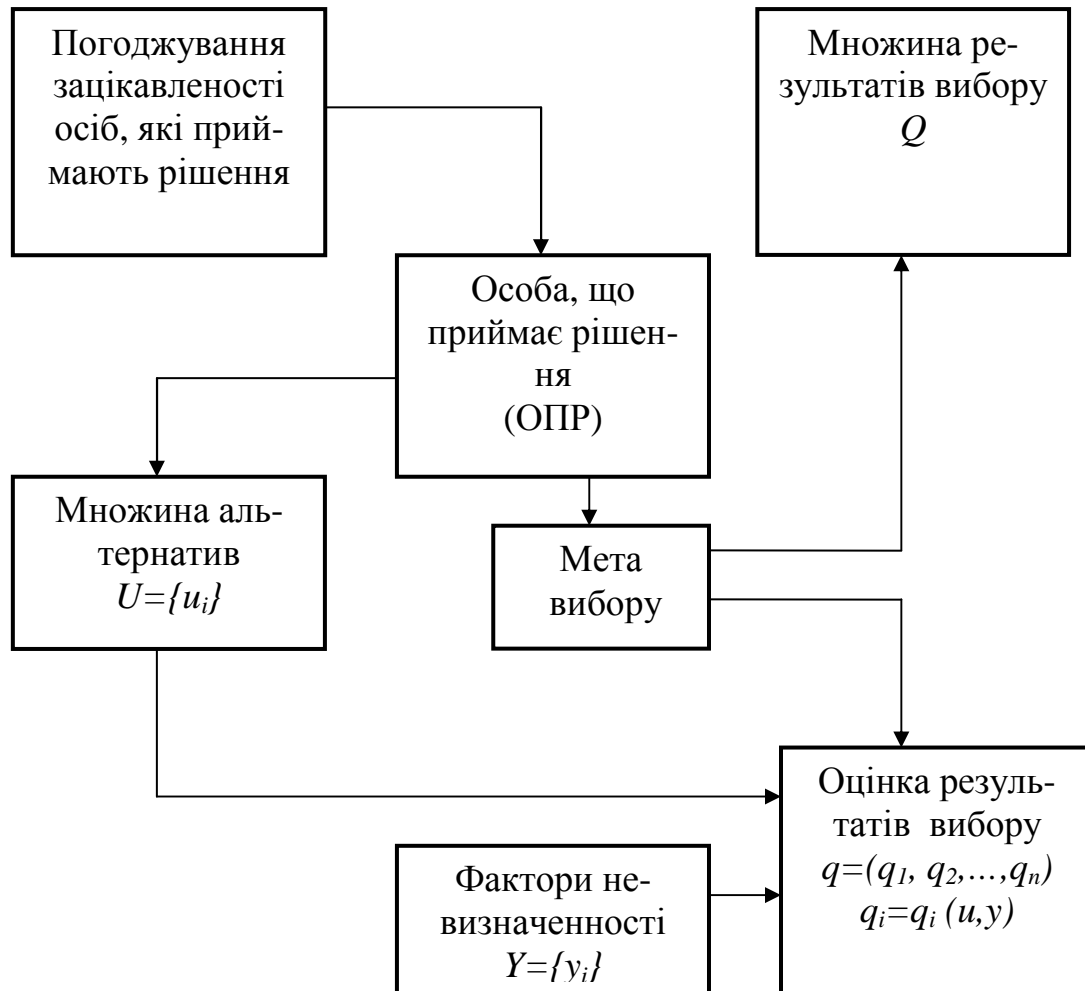


Рис. 6.1 - Блок-схема процедури ухвалення рішення

Ще більш складна ситуація виникає, якщо проблема рішення пов'язана з керуванням певною динамічною системою, яка функціонує в часі. У цьому разі можливі варіанти рішень — це керуючі функції (залежні від часу й/або стану системи), або способи керування системою. Тут множина V не просто складається з нескінченного числа елементів, але й не може бути ототожнена з будь-якою множиною кінцевомірного простору (тобто, наприклад, із сукупністю дійсних чисел з деякого відрізка або сукупністю точок площини й т.п.).

Поки ми не будемо конкретизувати, що являє собою множина U з математичної точки зору, оскільки це залежить від конкретної проблеми. На даному етапі досить уважати, що множина I являє собою деякий набір елементів $\{i\}$, або варіантів вибору, який має ОПР. Кожний вибір, або кожне прийняте рішення приводить до певного результату, який бажано оцінити кількісно. У свою чергу, критерії такої кількісної оцінки визначаються тими цілями, які ставить перед собою ОПР при розв'язанні проблеми. Таким чином, формулювання цілей після постановки конкретної підпроблеми приводить до опису тих кількісних критеріїв, які будуть вимірювати ступінь досягнення поставленої мети. На схемі множина наслідків вибору, позначена через Q . Як правило, кожна альтернатива (кожний вибір ОПР) приводить до результату, який може бути кількісно описаний кінцевим набором деяких числових характеристик, тобто кінцевомірним вектором. Тому множина Q являє собою деяку область у кінцевомірному просторі, яку пробігає вектор критеріїв, коли альтернативи пробігають множину U .

Зупинимося на питанні про те, яким умовам повинен задовольняти набір критеріїв. У будь-якій проблемі, пов'язаній з прийняттям рішення, важливо, щоб використовуваний набір критеріїв був *повним*, тобто охоплював усі важливі аспекти проблеми, *дійовим*, тобто міг бути з користю застосований в аналізі, *розкладним*, тобто щоб процес оцінки можна було розбити на етапи, *ненадлишковим*, тобто щоб у нього не входили різні оцінки того самого фактора, і *мінімальним*, тобто щоб кількість використовуваних критеріїв залишалася по можливості мінімальною.

Розглянемо докладніше ці властивості.

Повнота. Набір критеріїв (або *векторний критерій*) є повним, якщо він здатний показати ступінь досягнення загальної (глобальної) мети. Іншими словами, набір критеріїв є повним, якщо, знаючи значення векторного критерію, ОПР повністю уявляє ступінь досягнення поставленої загальної мети.

Дієвість (операціональність). Дієвість набору критеріїв означає, що ОПР має розуміти зміст критеріїв і вміти пояснити їх іншим, особливо в тих випадках, коли найважливішою метою роботи є вироблення й захист певної позиції.

Розкладність. Формальний аналіз рішення вимагає, щоб ми знайшли кількісне вираження як переваг ОПР щодо можливих наслідків, так і його суджень про невизначені події. Це завдання надзвичайно складне, якщо набір критеріїв не є *розкладним*. Інакше кажучи, вельми бажано, щоб розглянуті завдання могли бути підрозділені на частині з меншою розмірністю. Наприклад, якщо в проблемі використовується п'ять критеріїв, то можливо, що вдасться розділити процес оцінки наслідків на дві частини: у першій оцінці будуть вестися за двома критеріями, а в другій - за трьома.

Ненадмірність. Критерії повинні бути визначені так, щоб не дублювався облік тих самих аспектів можливих наслідків.

Мінімальна розмірність. Бажано, щоб набір критеріїв залишався настільки малим, наскільки це можливо. Щораз, коли ціль підрозділяється на підцілі, виникає небезпека виключення важливих аспектів проблеми. Однак з ростом числа критеріїв зростають труднощі формування багатомірних переваг.

Зі сказаного можна було б зробити висновок, що існує однозначний зв'язок між обраною альтернативою, тобто елементом множини U , і результатом цього вибору, тобто елементом множини Q , тобто має місце відповідність між елементами $u \in U$ і $q \in Q$. Однак однозначної відповідності, як правило, у складних проблемах не існує. Це пов'язане з наявністю факторів невизначеності. На схемі рис. 6.1 фактори невизначеності - множина Y з елементами y - виділені в окремий блок.

Причини невизначеності зв'язані як із впливом численних недетермінованих факторів, так і з недостатньо повним знанням зв'язків між рішенням і його результатом. Ми виділяємо два основні види невизначеності:

а) невизначеність, викликана неповнотою математичного (або іншого) опису зв'язку між альтернативою u і результатом (оцінкою) цього вибору q ;

б) невизначеність, викликана дією випадкових факторів.

Між цими двома видами невизначеності немає різкої відмінності, все залежить від конкретної ситуації й тієї інформації, яку мають ОПР.

Розглянемо тепер як описана схема виглядає на прикладі з підпроблемою д) «будівництво великої багатоярусної автостоянки в даному мікрорайоні», проблеми «Поліпшення транспортного обслуговування мешканців міста в перспективі на 15 років».

Почнемо з формулювання цілей у цій підпроблемі. Їх можна описати таким чином:

1. Мінімізувати загальну вартість будівництва й експлуатації;
2. Забезпечити достатню пропускну здатність для задоволення потреб індивідуального автовласника;
3. Мінімізувати час досягнення житлових кварталів мікрорайону від автостоянки;
4. Мінімізувати громадське невдоволення, викликане появою автостоянки;
5. Максимізувати безпеку функціонування автостоянки;
6. Мінімізувати вплив шуму й екологічні наслідки будівництва автостоянки.

З перерахування цих цілей випливають наступні критерії оцінки наслідків прийнятих рішень (нижче індекс q у змінної q відповідає номеру мети):

1. q_1 - тривалість пересування «до» і «від» автостоянки у хвилинах, усереднена за кількістю людей з кожної зони мікрорайону;
2. q_2 - кількість людей, які переселяються при будівництві автостоянки;
3. q_3 - кількість людей, які постраждали у результаті функціонування автостоянки, віднесена до загальної кількості ДТП;
4. q_4 - кількість людей, які були піддані високому рівню шуму та погіршенню стану атмосфери.

Отже бачимо, що будь-яке рішення у даній підпроблемі характеризується 4-мірним вектором $q = (q_1, \dots, q_4)$ із числовими координатами. Тепер розглянемо фактори невизначеності в цій підпроблемі, іншими словами, перелічимо елементи множини Y .

Вони такі:

1. Майбутня чисельність населення мікрорайону;
2. Час появи ефективних шумопоглинальних матеріалів;
3. Кількість автомобілів у майбутньому.

Опишемо тепер множину альтернатив або множину варіантів вибору, U . Представляються можливими такі варіанти:

1. Вибір місця будівництва — n_1 варіантів;
2. Вибір типу проекту — n_2 варіантів;
3. Вибір фірми-забудовника — n_3 варіантів;
4. Вибір (наприклад, з інтервалом 5 років) типів автомобілів (у припущенні, що кожні 5 років відбувається зміна складу парку машин).

Таким чином, у ОПР є апріорі (виходячи із загальної тривалості функціонування 15 років) $(n_1, n_2, n_3)^3$ варіантів рішення.

Тепер слід побудувати функціональні залежності $q_3 = q_i(u, y)$, ($i = 1, 2, \dots, 4$), які визначають вектор результатів q при виборі варіанта u та наявності факторів невизначеності y .

6.3. Принципи багатокритеріального вибору при відсутності невизначеності

Як встановлено в попередньому розділі, в результаті аналізу проблеми та побудови відповідних математичних моделей перед ОПР постає завдання вибору найкращого рішення. Цей вибір має дві принципові особливості:

1) якість рішення, як правило, не можна охарактеризувати лише одним показником, тобто має місце так звана *проблема багатокритеріального вибору* найкращого рішення u за набором показників $q = (q_1, \dots, q_n)$;

2) кожний показник якості рішення q_i залежить не тільки від самого рішення u , але від факторів невизначеності y , що приймають значення з деякої множини Y .

Розглянемо деякі принципи, використовувані для порівняння векторних величин і відповідні до цих принципів поняття оптимальності векторного критерію. Для зручності викладу ми будемо далі вважати, що бажано максимізувати всі компоненти векторного критерію.

А. Принцип виділення *головної компоненти*. У цьому випадку одна з компонент, наприклад, q_{i_0} оголошується «головною», а на інші компоненти при пошуку найкращого рішення накладаються обмеження у вигляді

$$q_i(u) \geq c_i, \quad i = 1, \dots, n; \quad (6.1)$$

Зокрема, для двовимірного випадку (при «головній» першій компоненті) відповідне завдання пошуку найкращого рішення має такий вигляд:

$$q_1(u) \Rightarrow \max, \quad q_2(u) \geq c. \quad (6.2)$$

На рис. 6.2 показані графіки функцій q_1 і q_2 . Умова $q_2 \geq c$ виділяє на осі u відрізки $[a, b]$ і $[d, e]$, на яких необхідно знайти максимум q_1 .

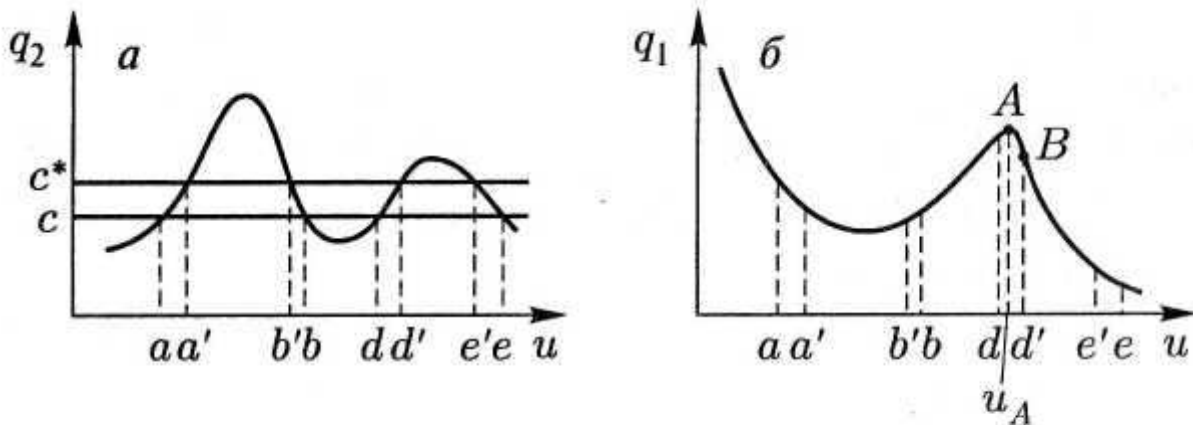


Рис. 6.2 – Графіки функцій q_1 і q_2

Із графіка функції q_1 видно, що цей максимум досягається в точці A при значенні u_A .

Зауважимо, що за збільшення значення c припустимі інтервали змінюють своє положення та довжину, і при c^* виявляється, що максимум q_1 досягається в точці B , де $q_B < q_A$.

Неважко помітити, що основна ідея такого способу полягає у параметризації рішення, яке шукають. Дійсно, якщо розглядати компоненти вектора $c = (c_1, \dots, c_n)$ як змінні параметри цієї задачі, то її рішення є функція цих параметрів, $u^* = u^*(c)$, і ОПР надається можливість вибирати їхні значення, впливаючи тим самим на оптимальне рішення.

Звичайно в конкретних завданнях, пов'язаних з оцінкою якості функціонально-просторової структури міста, параметри c_i - мають певний змістовний сенс, завдяки якому можна встановити або розумний діапазон їхньої зміни, або їх граничне значення. Наприклад, якщо компонента q_2 харак-

теризує витрати на реконструкцію, то s характеризує наявний у розпорядженні міської влади ресурс.

Підхід до формування понять оптимальності, заснований на параметризації, є досить поширеним.

6.4. Оптимальність за Парето

Відсутність природного відношення порядку в множині векторів приводить до спеціального поняття *ефективного рішення*, або *рішення Парето*. Маючи на увазі зроблене вище припущення, що бажано *максимізувати* всі компоненти векторного критерію, назвемо рішення u^* *ефективним рішенням (рішенням Парето)*, якщо для будь-якого іншого значення $u \in U$ набір показників не є кращим.

Іншими словами, u^* є рішення Парето, якщо при переміщенні в будь-яку іншу точку $u \in U$ буде виконана умова: або $q_i(u) \leq q_i(u^*)$, $i = 1, \dots, n$, або найдеться індекс i_0 такий, що $q_{i_0}(u^*) > q_{i_0}(u)$. Тому рішення Парето можна ще назвати *непокрещувальним*. Якщо виконана сильніша умова, а саме, при зсуві із точки u^* хоча б один з показників погіршується, то рішення u^* називається *строго ефективним рішенням (строгим рішенням Парето)*.

Іншими словами, якщо u^* строго ефективно рішення, то для будь-якого іншого рішення $u \in U$ знайдеться хоча б один такий індекс i_0 , що буде виконане співвідношення $q_{i_0}(u) < q_{i_0}(u^*)$.

Рішення Парето зручно досліджувати, якщо розглядати простір значень векторного критерію q . Тоді, якщо змінна u пробігає множину U , точка $q = (q_1(u), \dots, q_n(u))$, що зображує набір критеріїв, пробігає в n -мірному просторі деяку множину Q - образ множини U .

Розглянемо для ілюстрації векторний критерій з двома компонентами $q_1(u)$ і $q_2(u)$. Кожному рішенню u із множини U відповідають точки в площині з координатами q_1 і q_2 (рис 6.3). Якщо розглянути всі рішення із припустимої множини для кожного з них відзначити точку (q_1, q_2) , то в площині

$\{q_1, q_2\}$ утворюється деяка множина Q . З рис. 6.3 можна ще раз переконатися, що одночасно функції q_1, q_2 максимуму не досягають.

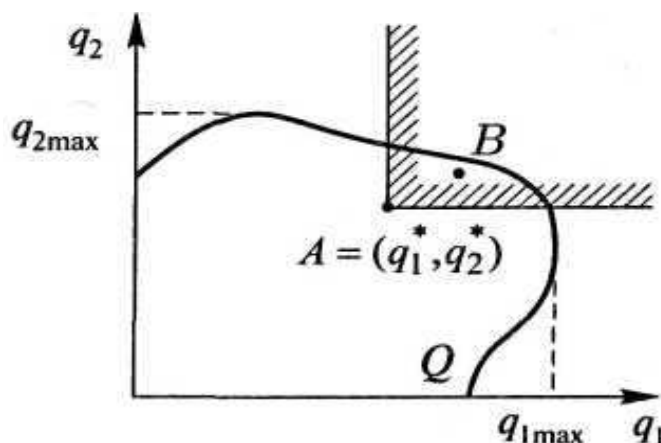


Рис. 6.3 – Кожному рішенню u із множини U відповідають точки в площині з координатами q_1 і q_2

Розглянемо в множині Q довільну точку $A = (q_1^*, q_2^*)$. Оскільки точка A належить множині Q , то в припустимій множині рішень U знайдеться рішення u , яке доставляє критерію q_1 значення q_1^* , а критерію q_2 - значення q_2^* . Проведемо із точки A промені, паралельні осям площини $\{q_1, q_2\}$ (див. рис. 6.3). Вони утворюють прямий кут з вершиною в точці A . Кожна внутрішня точка цього кута (заштрихований на рис. 6.3) має таку властивість, що в неї обидві координати більше координат точки A .

Наприклад, для точки $B = (\tilde{q}_1, \tilde{q}_2)$ маємо $\tilde{q}_1 > q_1^*, \tilde{q}_2 > q_2^*$. Звідси випливає, що якщо зазначений прямий кут (з вершиною в точці A) має з множиною Q загальну точку B , що не збігається з A , то рішення, яке відповідає точці A , напевно не є оптимальним. Дійсно, існує інше рішення \tilde{u} , відповідне до точки B , для якого компоненти векторного критерію більше q_1^* та q_2^* . Для запобігання такої ситуації необхідно, щоб множина Q і прямий кут не мали загальних точок, окрім його вершини. З рис. 6.4 видно, що цій умові задовольняє ділянка межі множини Q від точки P до точки E . Перша точка характерна

тим, що горизонтальна дотична до межі множини Q у цій точці збігається з горизонтальною стороною прямого кута, а друга - тим, що вертикальна дотична збігається з вертикальною стороною прямого кута.

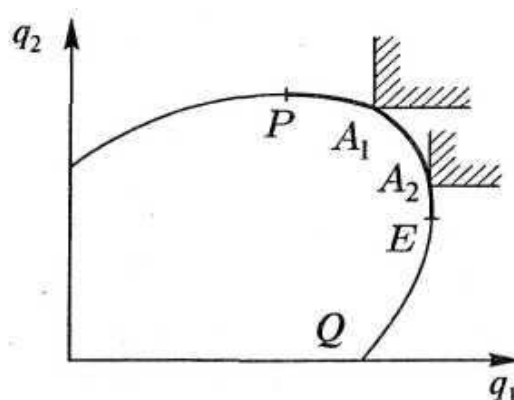


Рис. 6.4 - Відрізок PE є образ рішень, які не можна поліпшити одночасно за обома критеріями q_1, q_2 одночасно

При переході від однієї точки відрізка PE , наприклад A_2 , до іншої, A_1 , одна з компонент збільшується (q_2), але зате інша (q_1) зменшується. Отже, рухаючись уздовж відрізка PE , не можна збільшувати q_1, q_2 одночасно.

Таким чином, відрізок PE є образ тих рішень, які не можна поліпшити одночасно за обома критеріями. При цьому, якщо якій-небудь точці цього відрізка відповідає тільки одне рішення u^* , то воно буде строго ефективним. Якщо ж якась точка відрізка PE є образом декількох рішень, то всі такі рішення будуть просто ефективними, оскільки при переході від одного з них до іншого векторний критерій не поліпшується (він просто не змінюється). Отже, всі ефективні рішення відображаються вектором $q(u), u \in U$ на деяку ділянку межі множини Q , при цьому, якщо рішення u^* строго ефективно, образи будь-яких інших рішень не попадають у точку множини Q , відповідну до рішення u^* .

З визначення рішень Парето випливає, що всі рішення, які не є рішеннями Парето, потрібно виключити з розгляду, оскільки такі рішення можна поліпшити хоча б за одним показником, не погіршуючи інших і, виходить, вони напевно не ефективні. Таким чином, виділення рішень Парето із усієї множини можливих рішень U являє собою ефективним методом прийняття багатокритеріального вибору.

РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ

ЛЕКЦІЯ 7. ГІС В СИСТЕМІ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ

7.1. Геоінформаційні технології в територіальному плануванні

Територіальне планування. Це загальновизнана практика всіх цивілізованих країн, у тому числі і з самими ліберальними економічними системами. Річ у тому, що чинники економічної вигоди при територіальному плануванні не можуть розглядатися як основні, оскільки основне завдання територіального планування - створення комфортних умов для населення. Це поняття має на увазі таку просторову організацію території, яка має відповідати багатьом вимогам: надання зручних майданчиків для житла, виробництва, торгівлі, науки, управління, відпочинку і т.д. Планована територія повинна також відповідати критеріям екологічної безпеки, бути естетично привабливою, з надійною та безпечною інженерною та транспортною інфраструктурою.

Відповідно, документація територіального планування повинна забезпечити можливість реалізації цих потреб та надати пропозиції з формування просторового середовища для стійкого поетапного розвитку міської території.

Слід розуміти, що як би не було законодавчо-затверджених документів територіального планування, то в містах не було б парків, територій для споруд, музеїв, лікарень, театрів та всього того, що необхідно для повноцінного життя суспільства, але, з точки зору забудовників, економічно не вигідно. Адже земельні ділянки під ці об'єкти не дають того економічного ефекту, який може дати житлове будівництво або будівництво комерційних об'єктів.

З іншого боку, там, де ділова активність менш інтенсивна, де землі багато або доступ до ділянок не такий зручний, ціни значно дешевше. У таких випадках ринок нехтує землею, розтрачує її. Наслідки ж нераціонального просторового засвоєння, як показує світова практика, важко перебороти.

Територіальне планування чіпляє не тільки проблеми раціонального освоєння територіальних ресурсів, воно також висвітлює перспективи розвитку в

економічній, соціальній, історико-культурній та інших сферах. Посилюються екологічні стандарти, підвищується рівень життя людей. Всі ці і багато других аспектів повинно бути враховано в пакеті документів територіального планування. Саме у зв'язку з цим при розробці такої документації необхідно використовувати комплексний підхід, здійсненню якого ідеально допомагають геоінформаційні технології.

Основними перевагами використання геоінформаційних технологій та цифрових космічних зображень в територіальному плануванні є:

- можливість постійної актуалізації цифрових картографічних матеріалів та баз даних;
- наукова обгрунтованість проектних пропозицій за рахунок достовірної інформаційної бази;
- можливість моделювання та "програвання" більшої кількості варіантів розвитку територій, а також їх наочного відображення;
- використування матеріалів проекту для організації містобудівного і екологічного моніторингів;
- створення картографічного ядра багатофункціональної територіальної геоінформаційної системи.

7.2. ГІС в міському плануванні і моделюванні

Міське планування в сучасних умовах просто не може бути без фази моделювання. Додаткові складнощі, крім загального зростання компактності забудови, пов'язані з підвищеними вимогами до комфортності мешкання, екології, охорони навколишнього середовища, збереження історичного вигляду міста і традицій містобудування, що склалися, в тому або іншому регіоні або місті.

У процесі моделювання створюється прообраз майбутніх споруд, які довгі роки покликані служити інтересам населення міста, бізнесу, туризму і т.д. Розглянемо деякі питання тривимірного моделювання на основі геоінформаційних технологій, залишивши за дужками можливості моніторингу міського середовища за допомогою засобів дистанційного зондування.

Моделювання нових будівель і архітектурних комплексів традиційно виконувалося на листі ватману або за допомогою створення макетів будівель (як правило, з пінопласту), моделювання ландшафту місцевості - всіма доступними засобами, починаючи від картону, поролону і закінчуючи звичайним мохом. На створення таких макетів йшло дуже багато зусиль і часу. При проектних інститутах ще зовсім недавно існували спеціальні модельні відділи і навіть цехи. Сьогодні всі вони безповоротньо зникли. І не тільки через недостатнє фінансування, що, звичайно ж, має місце бути, але і внаслідок неповороткості, неоперативності і трудомісткості. Що ж прийшло або приходить на зміну старим добрим кубикам пінопластів.

Отже, за допомогою ArcView з додатковим модулем 3D Analyst можна в лічені хвилини створити тривимірну модель місцевості. Звичайно, при тій умові, що у є доступ до муніципальної ГІС, або хоча б, наприклад, цифрова карта місцевості з будівлями (їх висотами), вулично-дорожньою мережею, рельєфом у вигляді горизонталей, шаром рослинності та гідрографії. Такими електронними картами тепер вже нікого не здивуєш - з тією або іншою повнотою і достовірністю вони присутні практично у всіх містах України.

Володіючи такою ГІС чи картою (основою яких є велика база даних), можна також легко впровадити в існуючий ландшафт проєктовані будівлі або цілі архітектурні комплекси і проводити різного роду аналіз проєкту і його взаємодії з навколишнім оточенням. Можна заперечити, що стандартні функції 3D Analyst дозволяють виводити на екран тільки примітивні коробки будівель та ухвалити остаточне рішення при такому виді будівель достатньо складно.

Впровадження 3D Analyst дозволяє:

- правильно вибрати місце для будівельного майданчика з урахуванням рельєфу місцевості, крутизни схилів, існуючої забудови і ландшафту;
- правильно орієнтувати будівлю щодо сторін світла з урахуванням освітленості в різний час доби. Оскільки проєктування виконують не на площині, а на моделі реальної місцевості, оцінити об'єми майбутніх земляних ро-

біт. У разі потреби, визначити наявність видимості між різними об'єктами і побудувати профілі місцевості за різними напрямками;

- можна швидко змінювати проект, переміщати будівлі й інші елементи проекту і за допомогою послідовних наближень досягати бажаного результату.

При цьому, засоби 3D Analyst дозволяють не тільки поглянути на побудований об'єкт сторони, але також і «побачити» те, що знаходиться за вікнами нової будівлі.

У наш час існує додаткове програмне забезпечення для 3D Analyst, яке дозволяє створювати об'ємну візуалізацію місцевості з відображенням будівель в їх реалістичному стані.

Іншим способом реалістичнішого відображення будівель є відображення їх в середовищі САПР-програм і подальше впровадження їх в 3D Analyst. Більш того, якщо мають бути аеро- або космічні знімки високого дозволу, то після відповідної їх обробки можна відтворити картину місцевості - аж до дерев, що окремо стоять, та інші досить дрібних деталей. За рахунок цього можна оцінити свій проект ще й з естетичної точки зору.

Таким чином, після того, як вирішені принципові питання проекту, можна приступати до детального його опрацювання, створювати креслення майбутніх будівель, опрацювати фасади та інше. Дану фазу проектування, звичайно ж, краще виконувати в спеціалізованих САПР пакетах. Проте, після закінчення проектування можна впровадити готове тривимірне креслення в той же 3D Analyst, провести останній аналіз і ухвалити остаточне рішення.

7.3. Тривимірний міський геоінформаційний простір

Розглянемо основні напрями підвищення ефективності управління міськими територіями на основі технології тривимірної візуалізації географічних даних в поєднанні з фотореалістичною візуалізацією будівель кварталу Харкова.

Необхідність підвищення якості сприйняття візуальної інформації про міський простір, розширення складу муніципальних завдань для вирішення яких використовують географічні і інформаційні технології, в даний час

логічним чином веде до необхідності створення тривимірного міського геоінформаційного простору (ТМГП).

Основною метою побудови ТМГП є побудова тривимірних віртуальних моделей міст, які дозволять вирішувати широкий спектр завдань, пов'язаних з містобудівною діяльністю в масштабі, наприклад:

- планування розвитку міських територій;
- проектування, реконструкція і експлуатація будівель та споруд;
- вдосконалення і проектування транспортних систем;
- ведення міського кадастру, ріелторська діяльність.

Крім цього, створення ТМГП дозволить вирішити круг прикладних завдань, таких як:

- забезпечення безпеки мешкання на міській території;
- забезпечення застосування транспортно-навігаційних систем;
- забезпечення моніторингу екологічної обстановки в межах міської території;
- рішення інформаційно-пошукових завдань;
- забезпечення туристичної і інвестиційної привабливості міської території та ін.

Застосування ТМГП у сфері муніципального управління дозволить привернути широкий круг потенційних інвесторів, консультантів, експертів і забезпечити заходи, направлені на стійкий розвиток міста, а також забезпечить створення сприятливого середовища мешкання і підвищить ступінь архітектурної і інвестиційної привабливості міських територій.

Для підвищення якості сприйняття ТМГП виконана фотореалістична візуалізація міської території. Потреба у фотореалістичному відображенні навколишнього світу збільшує значущість ТМГП. Тривимірна фотореалістична візуалізація міських територій методами комп'ютерної графіки і створення муніципальних тривимірних ГІС здатні змінити технологію і практику управління містом, міського планування навколишнього середовища, розробки і ведення проектів.

Створення ТМГП з фотореалістичною візуалізацією вимагає великих зусиль за збором початкової інформації, геометричному моделюванню будівель і споруд, залежить від повноти і точності даних, що представляють ландшафт.

Відповідною відправною точкою можуть служити базові дані, що становлять основу ГІС: цифрові моделі рельєфу (ЦМР), електронні карти. При створенні фотореалістичної ТМГП необхідно роздільно формувати моделі поверхні міської території і тривимірних об'єктів, на ній розташованих.

Загальну стратегію створення фотореалістичної ТМГП можна представити у вигляді схеми (рис. 7.1). В рамках цієї стратегії були виконані роботи із створення експериментальної моделі міського кварталу Харкова.

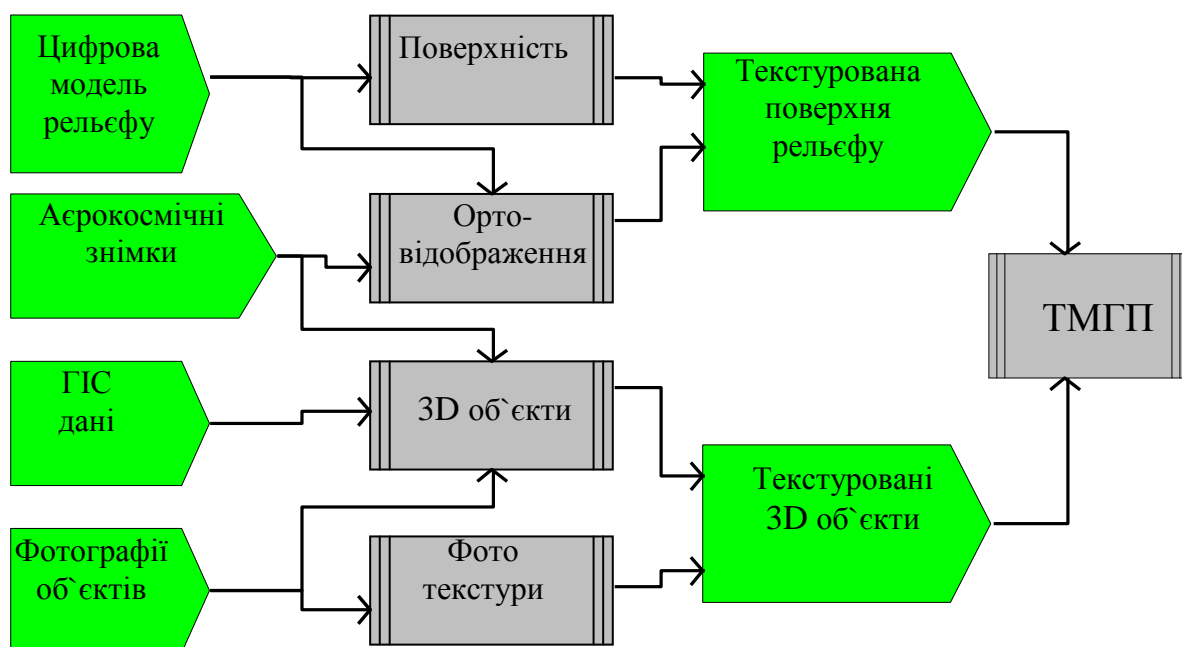


Рис. 7.1. - Стратегія створення фотореалістичної ТМГП

Геометрію моделі міської території визначає система координат, в якій створена цифрова модель поверхні. Вибір місцевої прямокутної системи координат дозволяє спростити поєднання моделей місцевості і міських об'єктів, які створюються в прямокутній системі координат.

Фотореалістична модель міського кварталу (МК) Харкова розроблена студентами кафедри геоінформаційних систем і геодезії під керівництвом викладачів кафедри.

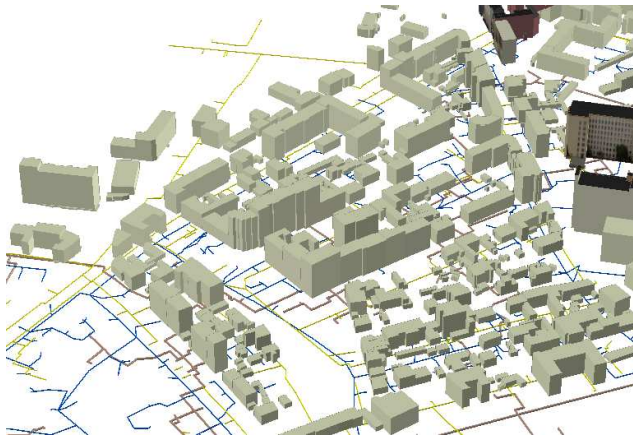
Модель МК Харкова включає:

- модель рельєфу в районі національної академії міського господарства;
- тривимірні моделі будівель з фотографічними текстурами;
- тривимірні моделі основних інженерно-технічних комунікацій;
- зелені насадження.

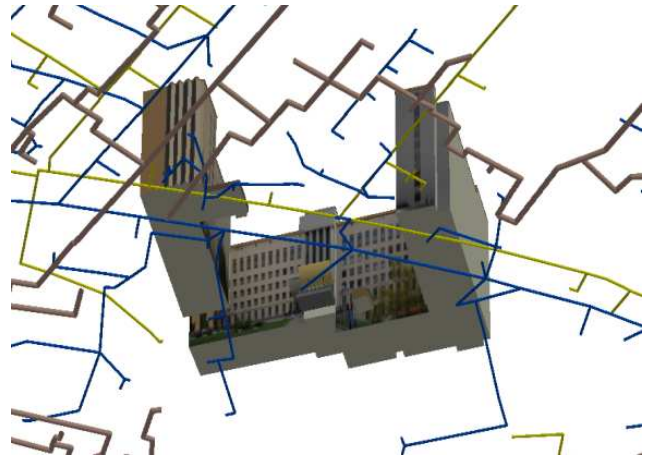
Інформаційно-довідкова складова ТМГП забезпечує висновок адреси об'єкта (будівлі), що цікавить, з показом будь-якої додаткової інформації. На рисунках 7.2 (а, б, в, г) показані фрагменти побудованої моделі ТМГП на прикладі Харківської національної академії міського господарства.

Розроблена ТМГП в рамках розглянутої території дозволить вирішувати наступні завдання:

- локалізувати і усунути аварії, пов'язані з комунікаційними спорудами, у тому числі і підземними. При використуванні візуально зрозумілої схеми комунікацій час пошуку необхідних для ремонту точок доступу або управління скорочується до однієї-двох хвилин, що приводить до скорочення збитку від аварії;
- виконати оперативну прокладку маршрутів у разі аварії по внутрішнь-одворових територіях району. Якщо застосовується система супутникової навігації, то завдання міської навігації може розв'язуватися в реальному масштабі часу;
- уникнути конфліктних ситуацій при забудові міських територій (наприклад, вибір місцеположення казино і ігрових клубів віддаля від житлових будівель і дитячих установ);



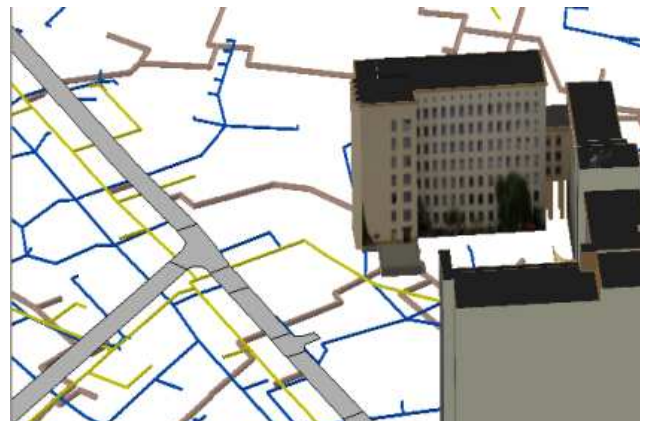
а)



б)



в)



г)

Рис. 7.2 – Фрагменти побудованої ТМГП на прикладі Харківської національної академії міського господарства

- забезпечити проведення суцільного обліку об'єктів містобудівної діяльності, зокрема неврахованих і самовільно зведених;
- виконати моніторинг об'єктів містобудівної діяльності, залучення інвестицій, а також ведення реєстру об'єктів містобудівної діяльності з їх візуалізацією.

Практичне використання фотореалістичних ТМГП Харкова дозволить підвищити ефективність управління міськими територіями за трьома основними напрямками (рис. 7.3):

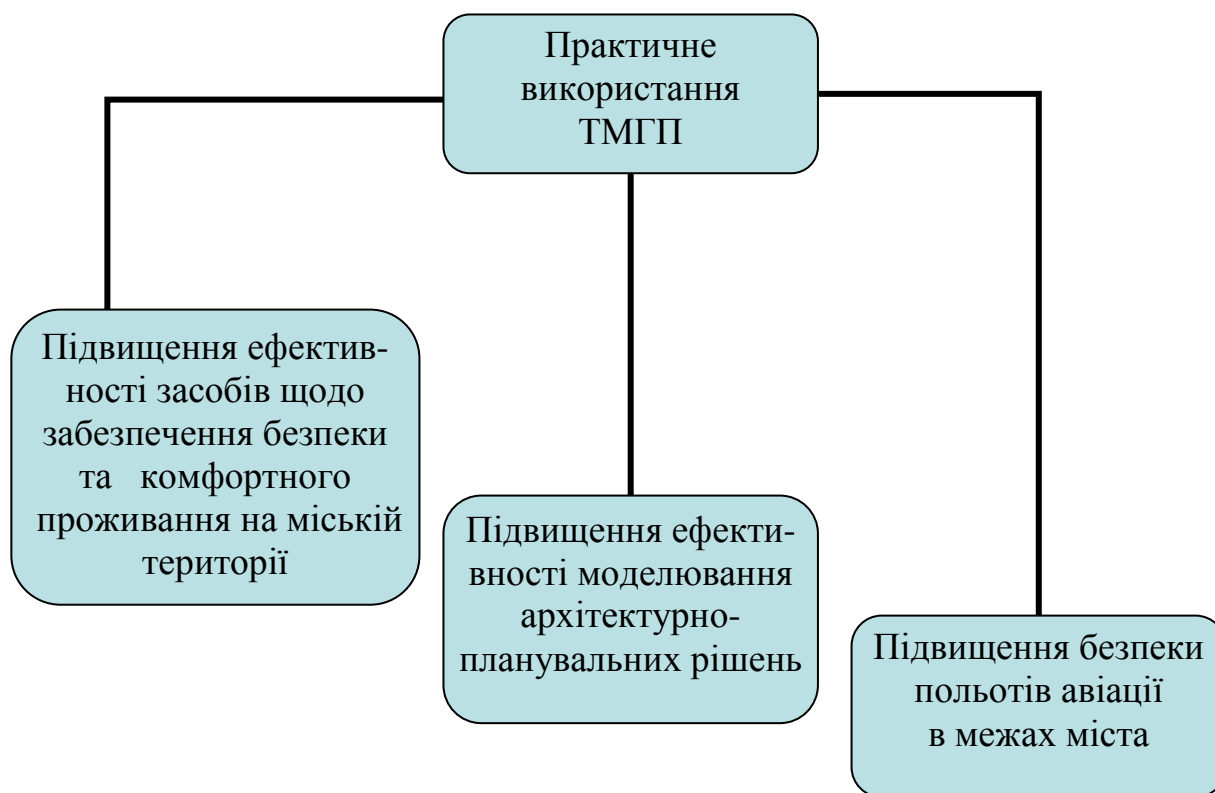


Рис. 7. 3 – Основні напрями практичного використання ТМГП

1. Підвищення ефективності моделювання архітектурно-планувальних рішень:

- створення моделей реального візуального сприйняття місцевості з різних точок спостереження при різних варіантах забудови (після зносу будівель, реконструкції і розміщення нових об'єктів);

- моделювання візуального сприйняття місцевості за роками при різних варіантах озеленення з урахуванням зростання дерев.

2. Підвищення ефективності заходів щодо запобігання і припинення терористичних актів, ліквідації надзвичайних ситуацій і їх наслідків:

- розробка планів і відробіток дій з попередження і припинення протиправних актів;

- ліквідація пожеж і інших надзвичайних ситуацій на тривимірних зображеннях критично важливих об'єктів міста (з візуалізацією внутрішніх

приміщень, проходів, підходів, під'їзних шляхів, оточуючої забудови, з можливістю проглядання будівлі з будь-якої сторони);

- оперативний контроль місцеположення і координація транспортних одиниць на маршрутах з урахуванням просторово-часових умов руху міського транспорту (з використанням супутникової навігації);

- моделювання маршрутів руху транспорту для перевезення небезпечних, цінних, великогабаритних вантажів з урахуванням просторових характеристик міських вулиць з метою завчасного і оперативного визначення критичних ділянок маршруту руху;

- оперативний поточний контроль місцеположення маршрутного авто і електротранспорту, координація їх руху з урахуванням міської просторової специфіки місцевості.

3. Підвищення безпеки польотів малої авіації в межах міста:

- розробка польотних маршрутів з урахуванням просторових характеристик забудови критичних ділянок польоту (зліт, посадка) – просторове моделювання маршрутів;

- оперативний диспетчерський контроль траєкторії польоту і управління в критичних ситуаціях з урахуванням міської забудови з використанням супутникової навігації.

На прикінці слід зазначити, що при створенні моделей ТМГП основним питанням є часовий чинник. Тимчасові витрати пов'язані в першу чергу з необхідністю підготовки початкових даних, створення фотореалістичних моделей будівель і споруд, імпорту створених моделей в 3D сцену.

ЛЕКЦІЯ 8. РОЛЬ МІСЬКОГО КАДАСТРУ ПРИ УПРАВЛІННІ МІСЬКИМИ ТЕРИТОРІЯМИ

8.1. Міський кадастр як основа для побудови інформаційно-управляючих територіальних систем

Корінні зміни, що відбуваються в економічному житті України пов'язані зі створенням сучасної ринкової системи. Ринкові відносини потребують принципово нових підходів до формування та здійснення земельної політики. Особливо це актуально для великих міст, що володіють матеріальними ресурсами та високим інтелектуальним потенціалом, що дозволяє швидко та ефективно мобілізувати ринковий потенціал земельних ресурсів, залучити інвестиції в найбільш важливі галузі життєдіяльності міста.

Чим більша площа міста та його населення, тим суттєвіша диференціація у вартості земельних ділянок на околиці та в центрі міста.

Класифікатори земель відображають позицію певної групи спеціалістів. Архітектори-містобудівники розглядають місто як складну структуру, що динамічно розвивається. Земельний кадастр відображає землеволодіння, що фактично склалося у місті. Неможливо створити універсальний для всіх відомств класифікатор земель міста. Необхідно розробляти серію класифікаторів міських земель за різними аспектами.

При створенні нової інфраструктури в повній мірі повинні враховуватися механізми ринку землі, а інвестиції скеровуватися в ті райони та галузі міського господарства, які забезпечують максимум переваг за короткий час.

Суттєву роль у прискоренні процесів покращення міської інфраструктури грає формування критеріїв для здійснення земельної податкової політики, виявлення суб'єктів податкових пільг, визначення та коригування рівня орендних платежів у рамках земельної політики, що проводиться. Все це потребує відповідного рівня інформаційного забезпечення та безперервного аналізу можливих наслідків управлінських рішень за допомогою сучасних математичних моделей та комп'ютерних систем. Таким чином, формування ринку землі, правильний облік її вартості, адекватна земельна політика та її повноцінне інформаційне забезпечення можуть покращити розвиток міста в інтересах меш-

канців. Основою створення різних інформаційно-керуючих територіями систем може бути міський кадастр (МК), тому що він має низку переваг:

- дає просторове положення земельних ділянок та всіх об'єктів нерухомості в міському середовищі;
- об'єднує різноманітну за структурою та складом інформацію і дає цій інформації територіальну прив'язку;
- є об'єктивно необхідним процесом для побудови ринкової економіки.

Земельно-кадастрова інформація, маючи властивості комплексної інтеграції і взаємозв'язаної різнорідної інформації, дозволяє розглядати міський земельний кадастр як основу земельної інформаційної системи міста.

Інформаційно-управляюча система (ІУС) або геоінформаційна система (ГІС) повинна забезпечувати наступне:

- формування опорної графічної інформації про землі щодо всієї території міста;
- створення графічної основи МК у формі планів меж земельних ділянок та тісно пов'язаної з ними нерухомості;
- відображення балансу земель по господарському і функціональному використанню земель;
- достовірність правового статусу земель і сервітути;
- інтеграцію і порівнянність семантичної інформації з різних проблем управління земельними ресурсами.

8.2. Поняття структуризації територій населених пунктів. Елементи структуризації і їх характеристика

Під структуризацією території населеного пункту розуміється визначення ієрархії його складових елементів, наприклад: місто- район - квартал (секція)- вулиця-відрізок вулиці-кадастрова облікова ділянка (елементарний об'єкт).

Залежно від розміру території населених пунктів ті або інші елементи можуть бути виключені, наприклад, малі населені пункти немає необхідності розчленовувати на райони і квартали.

Процес структуризації території є основоположним і полягає у виділенні вказаних елементів і їх кодуванні:

- район є адміністративно-територіальною одиницею, межі якої встановлені на підставі юридичних документів. Район складається з кварталів (секцій) і вулиць. Кожному району присвоюється номер, що складається з двох знаків і відповідають алфавітному списку районів;

- квартал (секція) – територіальна одиниця, межами якої є червоні лінії забудови або межі відведення дороги і вулиць. Кwartали усередині району (міста) нумеруються зліва – направо, зверху – вниз або у міру їх формування і описуються трьома знаками. Може бути застосована інша система нумерації, проте це повинно бути обумовлено. Окрім цього, якщо трьох позицій для обхвату всіх кварталів виявляється недостатньо, то до них може бути додана буква (наприклад, перша буква району: Центральний – Ц і так далі);

- вулиця – це частина території, обмежена червоними лініями забудови, призначена для переміщення всіх видів транспорту і пішохідного руху. Вулиці складаються з відрізків вулиць. Перетин декількох вулиць утворює перехрестя. Вулиці позначаються в межі населеного пункту кодом відповідно до їх алфавітного списку. Код складається з чотирьох знаків;

- площа (перехрестя) представляє собою перетин декількох вулиць, обмежених лініями забудови. Код площі містить п'ять знаків. Площа, на відміну від перехрестя, має назву;

- кадастрова ділянка – це частина території з однорідними показниками правового, господарського, природного, економічного змісту, передана в тимчасове або вічне користування, володіння або оренду юридичній або фізичній особі. Кадастрові ділянки нумеруються в межах кварталу (секції). Код містить три знаки;

- елементарний об'єкт (угіддя) – складова частина кадастрової ділянки, відрізка вулиці, площі, перехрестя, що систематично використовують з конкретною господарською метою, така, яка володіє однорідними природно-

історичними властивостями. Угіддя нумеруються всередині кадастрової ділянки або кварталу. Код містить три знаки.

Структуризація території здійснюється за картами масштабів 1:5 000 – 1:25 000.

Кадастровий план може містити шари:

- межі населеного пункту;
- межі районів, що входять в населений пункт, кварталів з їх назвами і кодами;
- будівлі і споруди;
- великі річки і водоймища;
- основні залізниці і автостради.

Структуризація районів здійснюється по картах масштабів 1:2000-1:25 000.

Кадастровий план районів включає:

- насоси;
- межі районів;
- межі суміжних районів землекористувачів;
- будівлі і споруди;
- великі річки і водоймища, основні залізниці і магістралі;
- межі кварталів (секцій), відрізків вулиць, площ (перехресть) і їх цифрове позначення;
- назва вулиць, площ, водоймищ.

Графічна інформація на кадастрових планах доповнюється семантичною (опис ділянки, його економічної оцінки і власності), а також геометричною інформацією (просторове положення об'єктів). Збір семантичної інформації здійснюється методами анкетування, інтерв'ювання, обстеження, вибіркового спостереження. Геометрична інформація формується за допомогою наземних зйомок, а також цифрування наявних картографічних матеріалів і аерофотознімків.

Спочатку концентрується інформація про межі населеного пункту і районів, що входять до нього, на дигітайзері або векторизаторі. Ця інформація надалі поповнюється змістовною. При цьому оформляється:

- паспорт населеного пункту;
- паспорт кадастрової ділянки;
- паспорт району;
- паспорт площі;
- паспорт угіддя;
- паспорт вулиці ;
- перелік площ .

Збір інформації на район починають з формування об'єкта "Район". На цей об'єкт заповнюють "Паспорт району", на схемі відмічають межі кварталів (секцій), а також позначають межі перехресть, площ і відрізків вулиць. Потім виділяються об'єкти "Квартал", яким присвоюють коди, що складаються з кода району і відповідного номера кварталу.

Після цього формують об'єкти "Площа" і об'єкти "Перехрестя", яким також присвоюються номери в межах населеного пункту.

Збір інформації на квартал (секцію) починається з формування об'єкта "Ділянка", якій присвоюють код, що складається з кода району, номера кварталу і номера ділянки. На кадастрову ділянку заповнюють "Паспорт ділянки". На даному етапі виділяють об'єкти "Відрізок вулиці", яким присвоюють коди, що складаються з номера вулиці відповідно до списку вулиць і номера відрізка вулиці.

8.3. Значення географічних інформаційних систем і цифрової топографічної основи при підготовці матеріалів кадастру

Зараз немає єдиного визначення ГІС, оскільки вони мають багатофункціональне застосування. Проте в будь-яких формулюваннях під цим терміном мають на увазі інформаційну систему збору, зберігання, обробки, пошуку і відображення просторово визначених даних. Залежно від ознаки, покладеної в основу створення ГІС, існують різні їх класифікації за характеристиками:

- територіальному обхвату (глобальні, регіональні, національні, локальні);
- цілям (багатоцільові, спеціалізовані, зокрема, інформаційно-довідкові, інвентаризаційні, для потреб планування, управління);

- тематичній орієнтації (загальногеографічні, галузеві, зокрема, водних ресурсів, використання земель, лісокористування, рекреації і так далі).

Останнім часом ГІС знайшли широке застосування для кадастру населених пунктів. Створення ГІС в місті вимагає істотних матеріальних і трудових витрат. Для створення ГІС потрібні:

- обчислювальна техніка (закупівля, наладка і обслуговування);
- програмне забезпечення (закупівля, створення спеціальних програм, наладка і обслуговування);
- фахівці (навчання, перепідготовка);
- дані (створення і ведення).

Процес виведення ГІС міста на повну інформаційну потужність може зайняти десятки років. Тому важливо з'ясувати питання – чи виправдані всі ці витрати. Опис місцеположення об'єктів в базі даних ГІС виконують записами координат точок X,Y,Z. Креслення здійснюють з точністю натурних вимірювань (якщо введення даних в ГІС проводять безпосередньо за результатами зйомки, а не з картографічних матеріалів), що на порядок точніше і абсолютно недосяжно в паперовій технології. При коректурі топографічної зйомки немає проблем із збереженням зображень об'єктів, що виникають унаслідок деформації паперу, стирань і зрізів. Параметр часу забезпечує доповнення топографічних даних ГІС четвертим виміром, окрім трьох просторових. Електронна модель топографічних матеріалів з параметром часу дозволяє зберігати дані для вивчення міської забудови в історичній ретроспективі. Технологія комп'ютерних баз даних передбачає запити на отримання інформації стандартним способом, що забезпечує доступ до інформації десятків користувачів одночасно, включаючи керівників, які приймають рішення.

Можливість "пошарового" ведення графічних баз даних дозволяє учасникові загальноміської бази даних сконцентрувати свої зусилля на власних проблемах і використовувати для виробничих завдань сукупну інформацію про територію з багатьох інших джерел.

З матеріалами міського кадастру можна зв'язати інші дані, зокрема:

- звичайні і тематичні карти і плани;
- фотографії, малюнки, креслення, схеми, відеозображення і звуки;
- аеро- і космічні знімки;
- статистичні таблиці і текстові описи, технічні дані;
- поштові адреси, телефонні книги і довідники;
- геодезичні, екологічні і будь-які інші відомості.

ГІС-технологія дозволяє зібрати ці розрізнені дані і в єдиному вигляді зберігати, оновлювати, аналізувати, проводити будь-які операції, стежити за всіма змінами, отримувати різні карти, плани, таблиці.

Важливо, що результатом може бути не тільки серія карт в будь-якому вибраному масштабі з початковою інформацією або її сумою, але і аналітичні карти, відеозображення, масиви даних. Таким чином, багаторівнева ГІС міста дає наступні переваги для її користувачів:

- зв'язність і узгодження всієї інформації в єдиній базі даних для ухвалення управлінських рішень інформаційного забезпечення на різних рівнях міського планування;

- використання муніципальних ГІС для отримання, аналізу і прийняття рішення користувачем за інформацією різного ступеня детальності; зменшення витрат по створенню і оновленню топографічних, кадастрових і базових карт.

Муніципальна ГІС представляє інформацію на рівні муніципалітету, районів міста, ділянок для планування міжрайонних зв'язків, моніторингу, планування і управління галузями міського господарства.

Багаторівнева ГІС забезпечує вирішення завдань в наступних масштабних рядах:

- оглядовий: 1:5 000, 1:10 000, 1:25 000 і дрібніше (наприклад, екологічна ситуація);
- середній: 1:1 000, 1:2 000 (наприклад, сільський кадастр);
- детальний: 1:500 і більше (наприклад, міський кадастр).

З вищесказаного можна зробити висновок, що створена і працююча міська ГІС виправдовує вкладені в неї матеріальні і трудові витрати. ГІС будь-якого рівня як система є уніфікованим набором функціональних компонентів:

- призначений для користувача інтерфейс об'єднує програмну і апаратну частини ГІС з оператором. Інтерфейс повинен відповідати вимогам фізичного і психологічного комфорту оператора, бути ефективним, швидкодіючим, таким, що адаптується для конкретного користувача, мати можливості діалогу і т. д.

- система управління базами даних (СУБД) використовується для пошуку інформації в базі даних. Більшість сучасних ГІС має дві окремі СУБД для графічних і тематичних даних.

- система введення даних забезпечує введення графічних даних за допомогою ручних і напівавтоматичних дигітайзерів;

- растрове введення графічних даних з подальшою напівавтоматичною векторизацією;

- растрове введення аеро- і космічних знімків;

- автоматизоване введення текстових даних стандартних форм; введення даних GPS, електронних тахеометрів і результатів різних топографічних знімків.

Засоби аналізу (обробка запитів користувачів) об'єднують процедури маніпулювання даними, наприклад: виділення об'єктів за заданими ознаками, операції накладення графічних контурів і т. д.

Засоби відображення і генерації звітів ефективно і наочно представляють результати обробки призначених для користувача запитів. ГІС мають різноманітні засоби генерації і виведення звітів картографічних документів і засобів створення поліграфічних друкарських форм.

Можна виділити такі етапи проектування кадастрової ГІС:

1. Аналіз інформації для ухвалення рішень щодо створюваної системи (визначення кількості і складу користувачів, аналітичний огляд науково-технічної документації з існуючої розробки, створення логіко-поняттєвих моделей на рівні "проблема-задача-об'єкт", встановлення зв'язків між об'єктами).

2. Аналіз і вивчення джерел інформації (вивчення забезпеченості території картографічними, аерокосмічними, довідковими матеріалами і іншими джерелами, тематичний збір даних, складання класифікаторів опису даних, каталогізація і оцінка початкових даних).

3. Визначення структури бази даних (класифікація даних, аналіз необхідної періодичності оновлення інформації в базі даних, розробка вхідних форматів представлення даних).

4. Визначення функціональних елементів системи і умов їх взаємодії (визначення загальної структури системи і системи управління, функціональних, прикладних, загальносистемних елементів програмного забезпечення, технічних засобів устаткування і їх конфігурацію, інформаційних зв'язків між різними користувачами).

5. Складання мережевого графіка робіт, календарного плану робіт, визначення бюджету проекту. При проектуванні багатоцільової ГІС міста є своя особливість. Домінуючим в такій ГІС є аспект колективного користування (земельні комітети, управління архітектури і містобудування, комунікаційні, управлінські, транспортні, інженерні служби, податкові інспекції і т. п.).

Ефективне використання такої ГІС може бути тільки при кооперації всіх служб. Інформаційною основою ГІС, яка визначає її основну відмінність від інших автоматизованих інформаційних систем, є дані про земну поверхню, що представляються зазвичай у вигляді цифрових карт (ЦК), які забезпечують можливість вирішувати типові завдання ГІС. Переваги ЦК перед традиційними (на твердих носіях) системами полягають в компактності зберігання, оперативності оновлення, широкому спектрі застосування. Існуючі технічні і програмні засоби дозволяють переглядати і редагувати ЦК на екранах дисплеїв, готувати і виводити паперові копії, проводити і оформляти результати складних розрахунків, пов'язаних з обробкою територіально розподілених явищ. Головною перешкодою широкого впровадження ЦК залишається висока трудомісткість їх створення, дорожнеча і тривалість виготовлення.

Цифрова обробка підрозділяється на такі етапи:

1. Первинна обробка матеріалів і приведення різноманітної топографічної і кадастрової інформації до єдиного вигляду.

2. Формування цифрової моделі місцевості (вона містить топоінформацію в повнішому і впорядкованому вигляді, придатному для універсального використання).

3. Перетворення цифрової моделі місцевості в цифрову карту (топографічна інформація трансформується в картографічну відповідно до конкретних вимог змісту карти). На цьому етапі відбувається креслення горизонталей, інтерполяція, апроксимація, редагування, генералізація і т. д.

4. Формування баз даних цифрової моделі місцевості. У базі даних здійснюється стандартизація накопиченої інформації. З її допомогою можна оперативно приймати і видавати необхідну інформацію.

Виготовлення цифрових карт виконується за різними технологіями. Нижче розглянуті такі з них, як дигіталізація, сканування, цифрова фотограмметрія, координування.

Основним приладом в дигітальній технології є дигітайзер. Це пристрій ручного оцифрування графічної інформації. Технологія оцифрування з використанням дигітайзера дуже трудомістка, оскільки вимагає кропіткої ручної праці кваліфікованого оператора. Сучасний рівень розвитку засобів введення (сканери) не дозволяє повністю замінити ручну технологію, хоча останнім часом дигітайзери почали витіснятися з ряду сфер застосування і ця тенденція розвиватиметься.

Створення цифрової карти за допомогою дигітайзера можна розділити на етапи:

1. Дигіталізація топографічних планів.
2. Обробка цифрової інформації.
3. Створення масиву семантичної інформації.
4. Контроль метричної і семантичної інформації.
5. виправлення помилкової цифрової картографічної інформації.

Дигіталізація топографічних планів починається з орієнтування планшета, яке може здійснюватися двома способами:

1. Стандартний спосіб застосовується для топографічних планів з координатною сіткою. Він припускає введення координат південно-західного кута планшета і розмірів трапеції в плані, після чого проводиться сколювання всіх чотирьох кутів планшета.

2. Загальний спосіб орієнтування припускає введення відомих координат трьох або більше точок на топографічному плані і подальше сколювання цих точок в тому порядку, в якому вони введені.

Після орієнтування переходять до процесу дигіталізації, який є сколюванням точок ліній, поворотних точок ламаних, пікетів, умовних точкових знаків і так далі. Дана технологія в даний час знаходить широке застосування в топографо-геодезичному виробництві.

Процес створення цифрової карти методом оцифрування відсканованих планшетів можна розбити на п'ять етапів:

1. Сканування планшета (отримання растрового зображення планшета).
2. Оцифрування растрового зображення (процес проходить автоматично або напівавтоматично).
3. Створення масиву семантичної інформації.
4. Контроль метричної і семантичної інформації.
5. Виправлення помилкової цифрової картографічної інформації.

Координування даних широко використовують під час інвентаризації земель. Воно полягає у визначенні координат об'єктів. На практиці це здійснюється проведенням знімання на певному об'єкті. Результати вимірювань можуть бути записані в журнал (традиційний метод), в реєстратор або карту пам'яті тахеометра (автоматизований метод). Обробка даних здійснюється в камеральних умовах з використанням персонального комп'ютера і пакету прикладних програм, або безпосередньо в процесі вимірювань при використанні електронного тахеометра. Результатом обробки можуть бути каталоги коорди-

нат, плани, кадастрові картки, румби і довжини ліній всіх сторін земельних ділянок.

Поява ГІС потребувала від фотограмметрії оперативного перетворення інформації і, що найголовніше, дешевшими засобами. У середині 70-х років з'явилися достатньо потужні графічні станції, які дозволили моделювати окремі фотограмметричні процеси. Проте перші дослідження не дали бажаного результату, оскільки процес розвитку цифрової фотограмметрії стримувався розвитком прецизійних сканерів високої роздільної здатності, що перетворюють аналогове зображення фотознімків в растровий вигляд. В середині 80-х років даний стримуючий бар'єр було подолано, і іноземні фірми налагодили серійний випуск даного устаткування. З середини 80-х років почався інтенсивний розвиток цифрової фотограмметрії за кордоном. У нашій країні її розвиток стримувався відсутністю вітчизняної апаратури і дорожнечою імпортою.

Перевагою цифрової фотограмметрії є те, що вона поставляє споживачеві найсучаснішу інформацію про стан досліджуваної області. Це істотно як для оновлення карт, так і для функціонування ГІС. Недоліком є те, що задіяне устаткування дороге.

У цифровій фотограмметричній системі процес стереоскопічного вимірювання координат точок знімків на фотограмметричних приладах замінюється роботою оператора з курсором і "мишею" після відтворення на екрані одного або двох дисплеїв (стереомонітора) частин цифрових зображень, що перекриваються. При відповідному програмному забезпеченні допускається можливість використання фахівців невисокої кваліфікації. На жаль, унаслідок високої вартості устаткування, цифрова фотограмметрія в Україні розповсюджується дуже повільно.

Необхідність цифрової форми представлення топографічної і спеціальної інформації як метричної основи геоінформаційних систем стає все більш актуальною для користувачів. Це особливо відноситься до ведення земельного і міського кадастру. При цифровій формі представлення даних про місцевість дуже важливим і трудомістким є початковий збір топографічної і спеціальної

інформації. Для збору цієї інформації залежно від поставлених завдань використовуються польовий, картометричний, фотограметричний методи.

Польовий метод є безпосереднім зніманням (за допомогою теодоліта, тахеометра, GPS), введення отриманих вимірювань в комп'ютер і координування інформації за допомогою спеціальних програм (наприклад, Autocad).

У картометричному методі беруться за основу готові карти і плани, які за допомогою дигіталізації або сканування переводять її в цифрову форму. Основою фотограметричного методу є аерокосмічні знімки, які переводяться в цифрову форму. Загальні переваги всіх польових методів наступні: безпосередній огляд виконавцем ситуації на місцевості, сучасніша інформація про місцевість, висока точність отриманого цифрового матеріалу.

До недоліків можна віднести трудомісткість, сезонність робіт, обхват невеликої території місцевості.

Вибір методу створення цифрових карт повинен ґрунтуватися на аналізі багатьох чинників: розміру території, часу на виконання роботи, наявності матеріальних засобів, кваліфікації виконавця і так далі. Природно, що для створення цифрової карти на невелике селище доцільніше застосовувати польові методи або картометричні, якщо немає необхідності у вищій точності.

При створенні цифрової карти на великі райони краще застосовувати методи цифрової фотограметрії.

Основне завдання створення кадастру полягає в створенні єдиного інформаційного простору використання, розпорядження і володіння об'єктами нерухомості в цілях управління розвитком міста як складною системою, що динамічно розвивається. Створення єдиного інформаційного простору можливе тільки за умови просторово-часової прив'язки інформації про землі міста і об'єкти нерухомості. Для просторової прив'язки об'єктів нерухомості можна використовувати ідеологію цифрової топографічної основи земельного кадастру.

Аналіз закордонних кадастрів показує, що в основі майнового кадастру має бути система оперативного віддзеркалення (моделювання, картографування)

об'єктів нерухомості. По своєму сенсу земельно-майновий кадастр повинен відображати стан об'єктів нерухомості, тобто технічні, економічні і юридичні характеристики об'єктів нерухомості на даний момент часу. Інакше інформація не може бути використана при операціях з нерухомістю і при управлінні містом. Світовий досвід створення земельно-майнових кадастрів показує, що необхідно скоротити до мінімуму обсяг інформації на кадастровому плані, щоб мати можливість вести його в оперативному режимі.

Цифрова основа кадастру є просторовою моделлю об'єктів нерухомості в системі координат державного кадастру.

Межі об'єктів нерухомості формуються при мінімальному обсязі топографічної інформації. Для кожного об'єкта нерухомості необхідно показати його кадастровий номер.

Топографічна інформація використовується для відображення положення об'єкта нерухомості в міському середовищі.

Перший базовий інформаційний шар містить інформацію про координати геодезичної мережі міста і задає метричний простір міста. Другий базовий шар містить інформацію про координати меж і кадастрові номери земельних ділянок. Третій базовий інформаційний шар містить векторну цифрову карту нерухомості міста при мінімальному обсязі топографічної інформації.

Кількість тематичних шарів державного кадастру не визначається. У тематичних шарах можуть відбиватися адміністративні і територіальні межі міста, кадастрове районування міста, підземні комунікації, сервітути і т.д.

ЛЕКЦІЯ 9. ВИКОРИСТАННЯ ГІС В МУНІЦИПАЛЬНОМУ УПРАВЛІННІ

9.1. Огляд наукової літератури з використання ГІС в муніципальному управлінні

Зацікавленість до впровадження ГІС в практику державного і муніципального управління у всьому світі залишається високим багато років. У Росії і країнах СНД проектам із застосуванням ГІС також надається досить велика увага. І якщо раніше в реалізації таких проектів велику активність демонстру-

вали органи державного управління (міністерства, агентства і т.п.), то останнім часом серйозну зацікавленість виявляють і органи місцевої влади: обласні і муніципальні органи управління.

Це пов'язано із значними змінами в законодавстві, істотно змінюючими економічну основу регіонального управління. Муніципалітетам надаються великі можливості і, одночасно, на них покладається відповідальність за управління землею і нерухомістю, обслуговування інфраструктури, збереження екологічного середовища і забезпечення безпеки населення.

Геоінформаційні системи давно і широко використовують для вирішення завдань державного і муніципального управління. Є маса прикладів успішного і не дуже успішного впровадження ГІС в практику роботи відповідних органів. Звичайно, ефективність використання ГІС визначається безліччю чинників, і, напевно, не тільки вибором програмного забезпечення від того або іншого постачальника. Проте сама можливість реалізувати необхідні функції, побудувати повноцінну інформаційну систему, інтегрувати її в існуючу інформаційну інфраструктуру, упровадити і забезпечити технічну підтримку рішень, істотним чином залежить від властивостей і якості програмного забезпечення ГІС.

ГІС-технологія забезпечує засоби для відображення і розуміння того, що знаходиться в одному конкретному або багатьох місцеположеннях, надає інструменти моделювання ресурсів, виявлення взаємозв'язків, процесів, залежностей, прикладів, загроз і ризиків. Ці можливості дозволяють побачити, що і де реально відбувається, виміряти розмір і масштаби події або дії, спільно проаналізувати різноманітні дані, розробити плани і, зрештою, допомагають вирішити, які кроки і дії слід зробити. Здатність ГІС інтегрувати просторові і непросторові дані, разом з функціями аналізу і моделювання процесів, дозволяє використовувати цю технологію як загальну платформу для інтеграції бізнес-процесів різних департаментів, видів діяльності і дисциплін в масштабах всього міського або регіонального уряду.

Для ефективного управління муніципальними утвореннями і регіонами, що динамічно розвиваються, необхідні достовірні і актуальні дані про об'єкти і

процеси на їх території, а також передові технології накопичення, обробки і представлення інформації. Сучасні географічні інформаційні системи з їх розвиненими аналітичними можливостями дозволяють наочно відобразити і осмислити інформацію про конкретні об'єкти, процеси і явища в їх сукупності. ГІС дозволяють виявити взаємозв'язки і просторові відносини, підтримують колективне використання даних і їх інтеграцію в єдиний інформаційний масив.

До цифрових карт або цифрової картографічної основи з тематичними шарами, що є геопросторовим базисом ГІС, можуть підключатися бази даних нерухомості, земельних ділянок організацій, грошової оцінки земель, інженерних споруд, пам'ятників містобудування і архітектури, відомостей з геології, історії розвитку і т.д. У базі даних також можна організувати зберігання як графічної, так і всієї технічної, довідкової й іншої документації.

У сучасних ГІС з'явилася можливість тривимірного представлення території. Тривимірні моделі об'єктів, упроваджені в 3-мірний ландшафт, спроектований на основі цифрових картографічних даних і матеріалів дистанційного зондування, дозволяють підвищити якість візуального аналізу території і забезпечують ухвалення зважених рішень з більшою ефективністю.

Сучасні геоінформаційні системи і засновані на них технологічні рішення потрібні не тільки крупним регіонам, містам або підприємствам і відомствам з розкиданими на обширній території об'єктами, але і невеликим населеним пунктам, які поки, як правило, слабо залучені в процеси геоінформатизації. Ринок ГІС, що розвивається, в Росії вкрай потребує специфічного продукту, який, з одного боку, задовольняв би потребам невеликих муніципалітетів в стартовому ГІС-рішенні і, з другого боку, відповідав би їх вкрай обмеженим фінансовим можливостям. Концепція подібного продукту розроблена фахівцями Інституту високих енергій підмосковного Протвіно і відділу обробки ДДЗ компанії "DATA+". Запропоновані технологічні рішення перевірені при створенні невеликих муніципальних утворень.

Рішення комплексних проблем, пов'язаних з різними сферами регіонального і муніципального управління (економіка, демографія, соціальна сфера, жит-

лово-комунальне господарство та ін.), вимагає створення ГІС загального призначення з можливістю швидкої настройки на рішення як приватних, так і загальних завдань. Таким чином, виникає завдання створення базової ГІС і засобів її настройки.

Створення проблемно-орієнтованих ГІС здійснюється на основі базової шляхом побудови класифікатора і моделей об'єктів заданої наочної області, а так само включення спеціалізованих програмних засобів для вирішення прикладних задач.

Використовується об'єктно-орієнтований підхід. Кожен об'єкт наочної області ГІС представлений в класифікаторі і описаний набором його властивостей - характеристик. Для опису взаємозв'язків між об'єктами використовують спеціальну одиницю даних - відношення. Комбінації цих елементів утворюють моделі об'єктів і ситуації. Класифікатор є сукупністю систематизованих по класифікаційних ознаках початкових одиниць інформації (понять вибраної наочної області) і їх угруповань, що представляють узагальнені поняття. Реконструювання класифікатора, а також створення моделей об'єктів наочної області, дозволяють адаптувати базову ГІС до рішення широкого круга завдань інформаційного забезпечення структур адміністративного управління.

Використання вищезгаданих принципів побудови інформаційно-аналітичної системи дозволило на основі базової реалізувати комплекс проблемно-орієнтованих ГІС, вирішальних задач в ведення майнового реєстру, земельного кадастру, оренди, зонування території міста за коефіцієнтами оцінки об'єктів нерухомості, моніторингу соціально-економічного стану адміністративно-територіальних структур.

Однією з останніх розробок в цьому ряду є система "Моніторингу соціально-економічного стану району". Метою розробки було створення системи, що дозволяє виробляти оперативну обробку і комплексний аналіз соціально-економічних показників району.

Система містить три функціональні підсистеми: підсистеми класифікатора, параметричної підсистеми, картографічної підсистеми.

Підсистема класифікатора є спеціалізованим програмним комплексом, призначеним для створення і ведення класифікатора об'єктів і показників моніторингу. Класифікатор визначає набір засобів для ідентифікації, опису, структуризації і кодування всіх використовуваних понять моніторингу у вигляді ієрархічного дерева, що забезпечує чітку структуризацію інформаційних ресурсів і дозволяє організувати швидкий пошук об'єктів і їх характеристик в інформаційній базі. Класифікатор використовують в автоматизованих процедурах введення, зберігання, обробки і видачі всіх видів інформації, представлених в рамках системи як в параметричній, так і в картографічній формах. Класифікатор включає загальноросійські статистичні класифікатори і довідники (галузеві, за формами власності, організаційно - правовим і ін.). Підсистема забезпечує реконструювання класифікатора і модифікацію бази даних за наслідками зміни класифікатора.

Параметрична підсистема призначена для підтримки введення, обробки і представлення результатів обробки показників моніторингу. Підсистема забезпечує: введення і актуалізацію параметричних даних; побудова проблемно-орієнтованих моделей введення і відображення; побудова фільтрів відбору інформації на основі класифікатора і логічних умов; відстежування динаміки початкових і розрахункових показників в заданому інтервалі з заданими - періодами; виконання розрахунків за кількісними показниками; відстежування даних за рівнями узагальнення класифікатора об'єктів і характеристик; представлення результатів моніторингу у вигляді таблиць, діаграм і графіків.

Картографічна підсистема призначена для картографічного представлення об'єктів моніторингу. Підсистема забезпечує: редагування графічної інформації; прив'язку об'єктів до електронної карти району, прив'язку до підприємств їх ситуативних планів; багаторівневу візуалізацію графічної інформації; відображення елементів змісту графічної становлячої бази даних по тематичних шарах; вибірку об'єктів на плані і отримання параметричної довідки про об'єкт; формування дискретних умовних знаків і прив'язку до них тематичної інформації;

відображення тематичної інформації з використанням колірної палітри, дозволяє проводити порівняльний аналіз кількісних характеристик об'єктів, представлених на електронній карті.

ГІС допомагає створити базову структуру для спільної роботи і спілкування, надаючи загальне поле посилення на дані на основі їх просторового місцеположення. Тобто з'являється можливість прив'язати до цього місцеположення (або до об'єкта, що знаходиться в даному місці) будь-яку пов'язану з ним інформацію, легко витягувати її і налагодити зручний і швидкий обмін цією інформацією.

До недавньої пори багато муніципальних урядів використовували модель ГІС, засновану на файловій структурі зберігання і звернення до даних. У результаті окремі ГІС-користувачі або невеликі групи, що виконують приватні проекти, створювали і підтримували свої власні набори даних, що зберігаються на їх персональних комп'ютерах. Такий спосіб роботи часто приводив до швидкого зростанню об'ємів надмірних даних і додатків, які, по суті, були недоступні для інших користувачів навіть в тій же самій організації. Мета створення корпоративної ГІС полягає в упровадженні технологій, стандартів і методів, що забезпечують тіснішу взаємодію і взаємообмін даними і послугами і, отже, що підвищують продуктивність, ефективність роботи і ГІС-користувачів, і всієї організації.

У разі, коли організація координує свою діяльність на основі ГІС, всі співробітники, що використовують просторові дані, дістають можливість звертатися до загальних даних, витрачаючи менше часу на їх пошук, оновлення і узагальнення. У них з'являється значно більше часу і можливостей повною мірою використовувати в своїй роботі могутні аналітичні засоби, які надає ГІС-технологія.

9.2. Сфери застосування муніципальних ГІС

Просторовий або географічний чинник є одним з домінуючих при управлінні міською територією і рішенні повсякденних завдань міськими службами і організаціями. Без знання про те, де розташований об'єкт, якими характеристиками він володіє, з якими іншими територіальними об'єктами він зв'язаний, неможливо ухвалити ефективне управлінське рішення або своєчасно вирішити оперативне завдання.

9.2.1. ГІС як інструмент чергування міської топографічної основи

Базове завдання будь-якої геоінформаційної системи – це актуалізація просторових даних. Сама по собі інформація в цифровому вигляді, поза сумнівом, має ряд переваг перед паперовими носіями, але без безперервного процесу оновлення система рано чи пізно втрачає достовірність і її використання стає неефективним. При використанні ГІС-технологій процес оновлення інформації стає менш трудомістким, з'являється можливість структурної організації і класифікації даних на моменті їх введення в систему.

9.2.2. Муніципальна ГІС для мешканців міста

Відкрита геоінформаційна система, створена на основі актуальних даних муніципальної ГІС, може бути розміщена в мережі інтернет для організації доступу до неї жителів міста. Очевидно, що інформація міститься на такому ресурсі, не повинна містити ніяких відомостей, віднесених поточним законодавством до інформації обмеженого доступу.

Ця інтерактивна ГІС може містити будь-яку інформацію, яка може бути корисна, і затребувана жителями міста – таку як місцезрештування об'єктів соціально-культурної сфери, сфери послуг, виборчих ділянок, державних установ, комерційних організацій і т.д.

На такому ресурсі можливе розміщення проекту правил землекористування і забудови, інших документів територіального планування, який містить схеми територіальних зон і містобудівних регламентів, що істотно збільшує рівень підготовки громадян для участі в публічних слуханнях.

9.2.3. Містобудівна ГІС

Сам процес створення і сама структурна побудова містобудівної проектної документації, очевидно, свідчить про ефективність використання ГІС-технологій.

По-перше, оскільки, графічні документи, представляють на різних картографічних основах і часто у вигляді схем, то саме ГІС-технології дозволяють приводити їх до єдиної картографічної основи.

По-друге, створюються в цифровому вигляді розділи і картографічні матеріали за окремими напрямками, що представляють, по суті, тематичні картографічні і семантичні бази геоінформаційної системи.

По-третє, проводиться зв'язаний аналіз вказаної вище інформації і створюється синтетична схема "Комплексний містобудівний аналіз території", де весь могутній арсенал ГІС-технологій може бути успішно застосований.

По-четверте, базуючись на проведеному аналізі, розробляються проектні пропозиції по містобудівному розвитку території (Проектний план) і галузеві інженерні проектні схеми, деталізуючі і підкріплюючі проектні пропозиції Генерального плану, де також використання ГІС-технологій представляється вельми ефективним.

Результатом такої роботи стає створення повноцінної містобудівної геоінформаційної системи, яка цілком може розглядатися як ядро територіальної (обласної, районної, муніципальної) ГІС, оскільки містобудівна документація містить в собі саме комплексне осмислення території.

9.2.4. Муніципальні ГІС

Світовий досвід свідчить, що для підтримки управління містами і общинами (муніципальними утвореннями) все частіше створюються комплексні (муніципальні) ГІС. По суті, вони є одним з найпоширеніших видів корпоративних геоінформаційних систем. Технологія ГІС вже протягом десятиліть використовується урядовими органами різних рівнів: міськими, регіональними. Упрова-

дження ГІС в таких структурах найчастіше починається в одному або декількох департаментах, а потім, у міру усвідомлення корисності і ефективності цієї технології, її застосування розповсюджується і на інші підрозділи. Іноді результатом такої експансії стають окремі або частково зв'язані між собою системи рівня департаменту. Але, хоча продуктивність роботи підрозділів і при такому варіанті підвищується, потенціал ГІС при цьому реалізується не повною мірою. Максимальні переваги, зокрема високу поворотність вкладень може надати інтегрована ГІС, яка служить інтересам всієї організації.

Роль корпоративної ГІС полягає в наданні просторових даних і програмних інструментів (незалежно або разом з іншими корпоративними системами, використовуваними для створення інформаційних продуктів), затребуваних великим числом користувачів з різними потребами. Хоча дані і функціональність ГІС можуть розповсюджуватися незалежно, все частіше вони інтегруються з ресурсами даних і програмними інструментами інших інформаційних систем, що забезпечує додаткові можливості для підтримки бізнес-процесів департаментів і всієї організації.

Не менш популярний підхід до надання програмного забезпечення і інформаційних продуктів на корпоративному рівні, заснований на централізованих сервісах. При цьому частково відпадає необхідність установки програмного забезпечення або ресурсів даних скрізь, де в них є потреба. Цей підхід відноситься до напрямку, так званого “сервіс-орієнтованої архітектури”. У своєму розвитку ГІС всі в більшій мірі підтримують цю модель, надаючи засоби управління просторовими даними, їх аналізу, візуалізації і створення звітних матеріалів у вигляді сервісів через корпоративні мережі або Web. При використанні сервісів дані і інструменти можуть розташовуватися як усередині, так і поза організацією. Їх можна запрошувати і використовувати для підтримки бізнес-функцій всіх кінцевих користувачів.

Така технологія може істотно стимулювати діяльність муніципальних і інших урядових органів, підвищити ефективність їх роботи, надаючи затребувані бізнес-функції і інформаційні продукти по всій організації. Останні забезпечу-

ють необхідну підтримку процесу ухвалення рішень і операційну ефективність при будь-якій фізичній структурі організації.

Основна мета подібної системи полягає в розповсюдженні функціональності ГІС і даних в межах всієї організації і, одночасно, в можливості інтеграції функцій і даних, що надаються іншими технологіями. Реалізація цього завдання вимагає прихильності стандартам і використання одноманітних методів для визначення ГІС-даних, сервісів і компонентів інформаційних продуктів з підтримкою необхідних бізнес-функцій. Нові або адаптовані бізнес-процеси і інформаційні продукти сприяють підвищенню ефективності діяльності всередині організації і покращують сервіси для публіки. Наприклад, стандартний сервіс геокодування дозволяє надавати всім департаментам міста актуальну узгоджену інформацію за адресами і одноманітний відгук на запити, що приходять.

Для створення повноцінної корпоративної ГІС, зокрема муніципальної, необхідно наперед виробити чітку стратегію планування. Звичайно все починається з підготовки (своїми силами або з участю сторонніх консультантів) стратегічного плану створення системи, важливим елементом якого є план багаторічного розвитку, що містить загальне бачення системи і вирішуваних з її допомогою завдань, щорічні пріоритети, а також попередні грубі оцінки необхідних ресурсів. Робочий план надає цю інформацію за кожним з чотирьох компонентів: додатки, база даних, інфраструктурні ресурси і питання організації, формування штату співробітників.

При упровадженні корпоративних, зокрема муніципальних, ГІС доцільно зосередити зусилля на наступних важливих моментах:

- розвиток загальнокорпоративного підходу до створення ГІС з використанням загальних стандартів і послідовних методик, відповідних потребам всіх підрозділів організації;
- переклад існуючих ГІС-додатків і даних на нову платформу з можливістю одноманітної підтримки всіх потенційних користувачів;
- інтеграція ГІС-даних і сервісів з іншими інформаційними системами в межах організації, як частина загального корпоративного інформаційного рішення;

- адаптація структури штату ГІС-фахівців для підтримки корпоративного підходу;

- навчання штатних співробітників, що спеціалізуються на ІТ і ГІС, з метою вирішення завдань створення, розвитку і ведення загальнокорпоративних ГІС-ресурсів;

- навчання співробітників різних департаментів ефективному використанню ГІС відповідно до їх потреб.

Муніципальні утворення як великі, так і малі, мають департаменти (відділи), що виконують сотні бізнес-функцій, зокрема за поданням послуг (сервісів) суспільству. Більшість цих функцій спирається на такий важливий аспект, як просторове місцезнаходження. Тому ефективність і дієвість надання інформації і сервісів можна поліпшити за рахунок пропонованих ГІС переваг.

Наприклад, в ході обстеження середнього за розмірами американського міста було виявлено більше 300 бізнес-функцій, виконуваних 24 департаментами муніципалітету, де можна з користю застосувати інструменти ГІС. Більш того, аналіз показав, що майже в 70% випадків використовують загальні шаблони обробки, дослідження і управління інформацією, а також складання звітних документів на її основі. Обстеження діяльності інших муніципальних організацій дозволило наочно показати, що ситуація в них аналогічна: приблизно та ж частка їх бізнес-функцій характеризується схожими принципами роботи з географічними даними.

Таким чином, цілком очевидно, що місцеві владні і старанні структури є ідеальними кандидатами для впровадження корпоративних ГІС.

9.3. Підходи до проектування МГІС

Після аналізу світового ринку програмного забезпечення, яке може стати основою проектування, розробки і запуску проекту МГІС, вибір був зупинений на рішеннях від компанії ESRI. Ця компанія при створенні програмних продуктів орієнтується на задоволенні сучасних потреб користувачів ГІС, у тому числі і у сфері муніципального управління. За кожним з програмних продуктів сімейства ArcGIS є докладна документація, приклади використання, інструментарій для розробників, забезпечується технічна підтримка, активно працюють форуми користувачів.

Після вибору програмної платформи необхідно провести інфологічне (концептуальне) проектування системи. На даному етапі повинні бути визначені основні логічні компоненти МГІС, їх структура і взаємозв'язки.

Умовно всі зовнішні користувачі системи МГІС діляться на використовуючих "товсті" і "тонкі" додатки (клієнти). До "товстих", або важких, клієнтів можна віднести додатки, які вимагають додаткової установки на комп'ютер, мають розширений функціонал і займають значний об'єм дискової пам'яті комп'ютера (додатки ArcGIS Desktop). До "тонких", або легких, клієнтів відносять невимагаючі установки додатку, які звичайно поставляються в комплекті з операційною системою (наприклад, Web-браузер), а також ГІС-додатки з обмеженою функціональністю (ArcGIS Explorer).

Користувачі "товстих" клієнтів зовнішнього блоку можуть виконувати такий же об'єм операцій, що і офісні користувачі внутрішнього блоку. Втім, сучасні Web-технології можуть надати користувачам "тонких" клієнтів майже всі основні функції аналізу ГІС-даних, що доступні користувачам "товстих" - клієнтів.

Прикладами можуть служити операції побудови буферної зони уздовж магістральної дороги або редагування геометрії просторового об'єкта за допомогою звичного Web-браузера. В цьому випадку йдеться про сервіс-орієнтовану архітектуру (COA) системи. Суть цього підходу полягає в ідеї надання функці-

ональності програмного забезпечення у вигляді сервісу. При цьому відпадає необхідність установки додаткового програмного забезпечення на комп'ютери користувачів, а також забезпечується можливість розрахованої на багато користувачів роботи. Таким чином, ГІС-користувачі можуть виконувати операції просторового аналізу, візуалізації даних і підготовки розширених звітів на мережі Інтернет. Будучи елементами сервісу, дані і інструменти можуть розташовуватися на декількох комп'ютерах, і до них може бути забезпечений доступ для підтримки бізнес-функцій всіх кінцевих користувачів.

Задачі реалізації сервіс-орієнтованої архітектури можуть бути успішно вирішені за допомогою програмного продукту ArcGIS Server від компанії ESRI, який надає могутні засоби для реалізації розрахованої на багато користувачів багаторівневої розподіленої ГІС.

На етапі створення схеми бази геоданих МГІС вельми ефективним виявився також додатковий інструмент ArcGIS Diagrammer із зручним інтерфейсом і всіма необхідними функціями для створення моделі бази даних. У той же час ГІС є фундаментом муніципальної інформаційної системи, оскільки вона є джерелом всіх просторових даних щодо об'єктів міської території і може служити щонайпотужнішим засобом з обробки цих даних, вирішувати складні аналітичні задачі в галузі, моделювання процесів в міському середовищі і виступає в ролі невід'ємного інструменту при ухваленні територіальних управлінських рішень.

При реалізації програм інформатизації органів місцевого самоврядування проблемам розробки і розвитку муніципальних ГІС-технологій повинне бути приділене особливе місце.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГІС	-	геоінформаційна система
ІТ	-	інформаційні технології
ТМГП	-	тривимірна модель геоінформаційного простору
САПР	-	система автоматизованого проектування
ЕК	-	електронна карта
ЦК	-	цифрова карта
ЦКР	-	цифрова карта рельєфу
ЦКМ	-	цифрова карта місцевості
СОА	-	сервіс-орієнтована архітектура
МГІС	-	муніципальна ГІС
НІГД	-	національна інфраструктура геопросторових даних
GPS		Global Positioning System

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Новиков Д.А., Шульженко Н.А. Модели и механизмы в управлении организационными системами. М.: Издательство «Тульский полиграфист», 2003. Том 1. – 560 с., Том 2 – 380 с., Том 3 – 205 с.
2. Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
3. Глебова Н. ГИС для управления городами и территориями // ArcReview, 2006. - № 3(38).
4. Дьяченко Н.В. Использование ГИС-технологий в решении задач управления. - [http:// www. pocnit. ru/2st/materials/Diachenko. html](http://www.pocnit.ru/2st/materials/Diachenko.html)
5. Дьяченко Н.В. Опыт разработки информационно-аналитических систем поддержки принятия управленческих решений - [http:// www. pocnit. ru/2st/materials/Diachenko. html](http://www.pocnit.ru/2st/materials/Diachenko.html).
6. Еремченко Е. Новый подход к созданию ГИС для небольших муниципальных образований // ArcReview, 2005. - №2(32).
7. Красовская О., Сктерщиков С., Тясто С., Хмелефа Д. ГИС в системе территориального планирования и управления территорией // ArcReview, 2003. – №3 (38).
8. Томилин В.В., Нориевская Г.М. Использование ГИС в муниципальном управлении // Практика муниципального управления, 2007. - №7.
9. Щербинин Ю.Б. Нетрадиционные подходы к созданию геоинформационных систем управления муниципальными образованиями. – СНИБ "Эльбрус".
10. Сктерщик С. ГИС в градостроительном проектировании и управлении территориями // ArcReview.
11. [http:// www. Dataplus. Ru](http://www.Dataplus.Ru)
12. [http:// www. gis. su](http://www.gis.su)

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ПАТРАКЕЄВ Ігор Михайлович

Конспект лекцій
з дисципліни

ГІС В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ

(для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальностей
7.070908, 8.070908 «Геоінформаційні системи і технології»)

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз. 33Л

Підп. до друку 26.02.2010	Формат 60x84 /16
---------------------------	------------------

Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 3,7
--------------------	--------------------

Зам. №	Тираж 50 пр.
--------	--------------

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.